

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

# Optimalizace tuhosti světelného modulu pro přední osvětlení automobilu

Optimization of a Rigidity of a Light Module for Car  
Headlights

Student:

Bc. Jan Chrástek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Konzultant společnosti Visteon – Autopal s.r.o:

Ing. Vladimír Dobruš

Ostrava 2010

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Chrástek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin  
Téma: **Optimalizace tuhosti světelného modulu pro přední osvětlení automobilu**

### Optimization of a Rigidity of a Light Module for Car Headlights

#### Zásady pro vypracování:

Cílem práce je zkonstruovat a optimalizovat nosnou konstrukci světlometu. Zadavatelem tématu práce je firma Visteon-Autopal a.s. Nový Jičín, která poskytne podklady a konzultace k vypracování práce.

1. Proved'te úvodní rešerši způsobů upevnění a provedení světelných modulů.
2. Stanovte požadavky, které jsou kladeny na světelné moduly zejména z hlediska vnějších a vnitřních silových účinků. Při práci spolupracujte se zadavatelem práce firmou Visteon-Autopal Nový Jičín.
3. Navrhněte variantně možné způsoby provedení nosného rámu světlometu, v případě možnosti aplikujte optimalizační software.
4. Zhotovte sestavný montážní výkres světelného modulu a detailní výrobní výkres rámu.
5. Proved'te potřebné pevnostní a životnostní výpočty.

Práci zpracujte v rozsahu cca 60 stran.

#### Seznam doporučené odborné literatury:

- BOHÁČEK, F.: *Části a mechanismy strojů I - Spoje*. VUT Brno, 1987  
BOLEK, A. A KOL.: *Části strojů - svazek 1. a 2.* SNTL Praha, 1990  
NĚMEC, J. A KOL.: *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. SNTL Praha, 1989.  
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.  
FARANA, R. aj.: *Zpracování závěrečných textů z oblasti automatizace a informatiky*. Včetně anglicko-českého slovníku automatizační techniky a řízení. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 116 s. ISBN 80-248-0557-X.

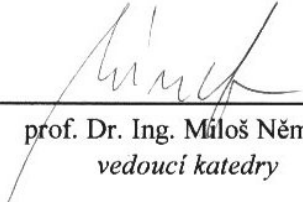
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



  
\_\_\_\_\_  
prof. Dr. Ing. Míloš Němček  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta



## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....  
podpis

Jméno s příjmením autora práce:

Bc. Jan Chrástek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Děrné 82

742 45 Fulnek

Okr. Nový Jičín

# ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Chrástek, J., Optimalizace tuhosti světelného modulu pro přední osvětlení automobilu  
Ostrava: Katedra částí a mechanismů strojů, Fakulta strojní VŠB – Technická  
univerzita Ostrava 2010, 55 s.  
Diplomová práce, vedoucí: Folta, Z., konzultant: Dobruš, V.

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací tuhosti nosného rámu světelného modulu pro přední osvětlení automobilu při daných okrajových podmínkách. Práce je rozdělena do tří částí. První část se věnuje rozboru vlastností světloometu automobilu. Druhá část je věnována přehledu již používaných světelných modulů s dynamickým natáčením světelného svazku a přístupu řešení jednotlivých výrobců. Třetí část je zaměřena na optimalizaci konstrukce nosného rámu při daných okrajových podmínkách; je zde popsán a aplikován postup optimalizačního procesu a připraveny výsledné varianty konstrukčního řešení.

## Annotation of dissertation

Chrástek, J., Optimization of stiffness front light module for vehicle lighting  
Ostrava: Department of Machines and Mechanisms, Faculty of Mechanical  
Engineering, VŠB - Technical University of Ostrava, 2010, 55 s.  
Dissertation, supervisor: Folta, Z., consultant: Dobruš, V.

This dissertation deals with the stiffness optimizing of the supporting frame of the front lighting module in marginal conditions. The work is divided into three parts. The first part deals with the analysis of the car headlight characteristics. The second part is devoted to the survey of already used light modules with dynamic recording of a light beam and a way of solution of individual producers. The third part is focused on the design optimizing of the support frame in marginal conditions, there is described and applied the procedure of optimization process. The final alternative design solutions are there prepared as well.

# OBSAH

1. ÚVOD.....	8
2. SKLADBA PŘEDNÍHO SVĚTLOMETU.....	9
3. SYSTÉM AFS – VLASTNOSTI A DŮVOD POUŽITÍ .....	10
3.1. Skladba světelné jednotky s modulem pro dynamické natáčení svazku .....	12
4. MODULÁRNÍ PROJEKTOROVÉ JEDNOTKY S DYNAMICKÝM NATÁČENÍM SVĚTELNÉHO SVAZKU AFS.....	13
4.1. Firma Koito 2. generace.....	13
4.2. Firma Valeo.....	14
4.3. Firma Hella .....	16
4.4. Firma Visteon.....	20
5. DŮRAZ NA EFEKTIVNÍ KONSTRUKCI NOSNÝCH RÁMŮ .....	24
5.1. Cena/výkon.....	24
5.2. Optimalizace pro sériovou produkci .....	24
5.3. Konstrukční možnosti s důrazem na výrobitelnost .....	25
6. ZJIŠTĚNÍ VLASTNOSTÍ NOSNÉHO RÁMU SVĚTELNÉHO MODULU A URČENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK .....	27
7. ZJIŠŤOVÁNÍ KOMPLEXNÍCH TVARŮ NOSNÉHO RÁMU .....	31
7.1. Topologie rámu .....	31
7.2. Aplikace profilů do konstrukce rámu .....	40
7.3. Volba a způsob umístění žebër do profilů.....	46
7.4. Způsob dosažení maximální frekvence při zachování daného objemu .....	51
8. ZÁVĚR.....	53
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55
10. SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE .....	55

# 1. ÚVOD

Diplomová práce se zabývá optimalizací tuhosti světelného modulu pro přední osvětlení automobilu. Tím, jak postupoval vývoj automobilů, začala se rozvíjet i odvětví optimalizací součástí, designu, ekologie a ekonomiky provozu vozidla. Světelná technika pro automobily nezajišťuje pouze osvětlení vozovky a vozidla, ale hraje také významnou roli v celkovém designu automobilu. Vývojáři v oblasti světelné techniky musejí být schopni navrhnout světlomet tak, aby splňoval náročná kritéria automobilek. Největším omezením celého vývoje jsou: nedostatek prostoru pro vlastní světlomet, krátká doba dodání nového světlometu, minimální hmotnost a nízké výrobní náklady. Proto jsou všechny součástky, ze kterých se světlomet skládá, podrobeny optimalizačnímu procesu, aby jejich parametry vyhovovaly všem stanoveným požadavkům a nebyly v některém směru zbytečně předimenzovány.

V teoretické části této práce jsou popsány základní prvky předního světlometu a funkce, které moderní světelné jednotky poskytují řidičům automobilů. Dále je zde uveden přehled již používaných světelných modulů s dynamickým natáčením světelného svazku a přístup řešení jednotlivých výrobců. V závěru teoretické části jsou popsány faktory ovlivňující proces optimalizace a konstrukční doporučení pro výrobky z plastických hmot.

Praktická část se zabývá již vlastním postupem optimalizačního procesu a aplikací okrajových podmínek určených společností Visteon – Autopal s.r.o.. Také jsou zde aplikovány poznatky získané z teoretické části, (kde dochází k jejich potvrzení či vyvrácení) a volba dalších směrů optimalizace. V závěru jsou připraveny možné výsledné varianty optimalizace nosného rámu.

## **Cíle řešení:**

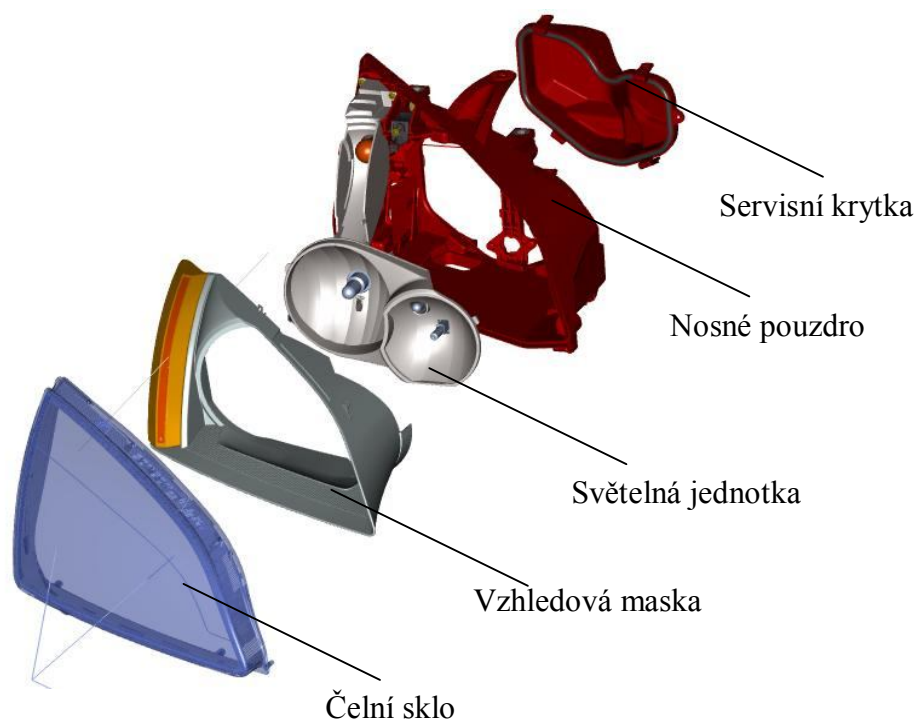
- a) Provést průzkum trhu a zjistit způsoby řešení konstrukce nosného rámu.
- b) Stanovit omezující podmínky v prostoru světlometu.
- c) Vytvořit kompletní návrh nosného rámu z hlediska vlastních frekvencí.
- d) Snížit hmotnost nosného rámu vůči vzorovému při zachování dané vlastní frekvence.
- e) Zvýšit tuhost nosného rámu vůči vzorovému při zachování daného objemu.
- f) Navrhnout rám tak, aby byl co nejnižší.

## 2. SKLADBA PŘEDNÍHO SVĚTLOMETU

Moderní světlomety (obr. 2.1) pro automobily musí splňovat náročná kritéria nejen na světelnou výkonnost a design, ale také musí být technicky propracované, robustní a spolehlivé.

Sestava moderního světlometu se obvykle skládá z následujících stavebních prvků:

- ČELNÍ SKLO stylisticky navazuje na design karosérie, je důležitou součástí designu a zároveň kryje vnitřní díly světlometu.
- VZHLEDOVÁ MASKA je výrazný vzhledový prvek, který dává světlometu specifický výraz a odlišnost z hlediska designu.
- SVĚTELNÁ JEDNOTKA je hlavní bezpečnostní prvek celého světlometu, zajišťuje generování světla. Světelné jednotky mohou být různé, od základních reflektorových jednotek, přes jednotky na bázi elipticko-dioptrických projektorů, až po moderní světelné jednotky na bázi světelných diod LED. Světelný modul AFS je jedna z variant sofistikovaného světelného modulu, který se používá zpravidla na automobilech vyšších tříd nebo jako speciální výbava.
- NOSNÉ POUZDRO je hlavní nosná část celého světlometu.
- SERVISNÍ KRYTKA zajišťuje možnost výměny světelných zdrojů.



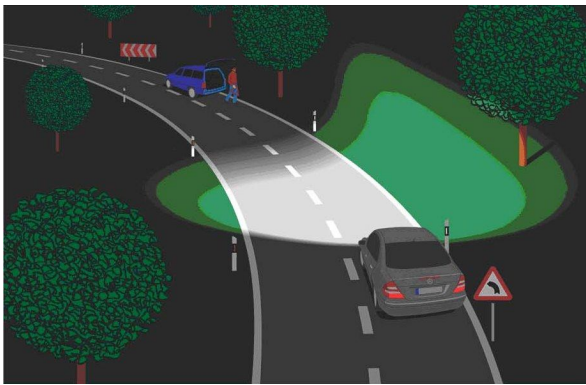
*Obr. 2.1 Rozpad sestavy předního světlometu*

### 3. SYSTÉM AFS – VLASTNOSTI A DŮVOD POUŽITÍ

Zkratka AFS (Advanced Front Lighting System) označuje systém adaptivních předních světlometů. Systém AFS dokáže měnit geometrii světelného svazku dopadajícího na vozovku a tím lépe osvětlit prostor před vozidlem. Díky tomuto systému a jeho dalším zdokonalováním dochází ke zvyšování bezpečnosti jízdy, protože na lépe osvětlené vozovce vidí řidič překážku dříve, a tak má více času na ni správně zareagovat.

Princip AFS systému spočívá ve svislém a vodorovném natáčení obou modulů světlometů v závislosti na rychlosti vozu a úhlu natočení volantu. Tím dokáže světelný modul lépe osvětlit právě projížděnou zatáčku (obr. 3.1) (10). Funkce AFS systému je při aktivaci rozdělena do několika režimů (9):

- REŽIM MEZIMĚSTO (obr. 3.2a) se nejvíce podobá běžnému potkávacímu světlu. Pravý i levý modul světlometu jsou v základní poloze. Aktivují se při rychlostech 0 až 15 km/h nebo 50 až 90 km/h.
- REŽIM MĚSTO (obr. 3.2b) má rozložení světelné stopy širší a kratší než režim meziměsto. Důvodem je potřeba osvětlení chodníků a křižovatek. Pravý modul se nachází v základní poloze a levý modul je natočen více doleva a skloněn tak, aby neoslňoval protijedoucí řidiče. Tento režim je aktivní při rychlostech 15 až 50 km/h.
- REŽIM DÁLNICE (obr. 3.2c) zajišťuje dlouhý dosvit světelné stopy, která osvětlí pravý i levý jízdní pruh. Levý modul světlometu je vytočený nahoru a mírně vlevo, pravý modul je pouze přizvednut. Režim dálnice se aktivuje postupně z režimu meziměsto, aby byla změna světelného svazku plynulá a působila přirozeně. Aktivuje se při překročení rychlosti 90 km/h a maximální účinek dosáhne při rychlosti nad 120 km/h.
- REŽIM DÉŠŤ (obr. 3.2d) je určen pro jízdu za snížené viditelnosti (v dešti nebo hustém sněžení). Světelná stopa je široká a krátká. Pravý modul je skloněn dolů a levý dolů doleva. Aktivace tohoto režimu je závislá na rychlosti vozu v rozmezí 0 až 70 km/h a zároveň na spuštění stěračů.

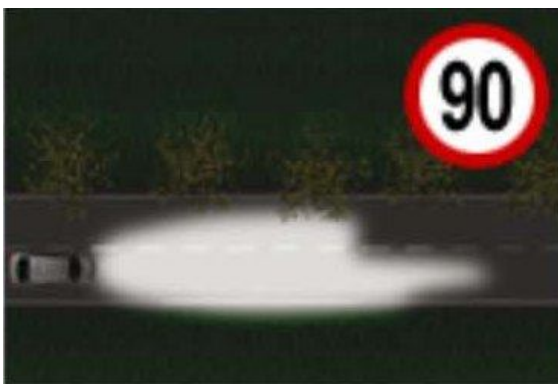


*a) se standardním světlometem*



*b) s dynamickým natáčením (součást AFS)*

*Obr. 3.1 Průjezd zatáčkou*



*a) režim meziměsto*



*b) režim město*



*c) režim dálnice*



*d) režim déšť*

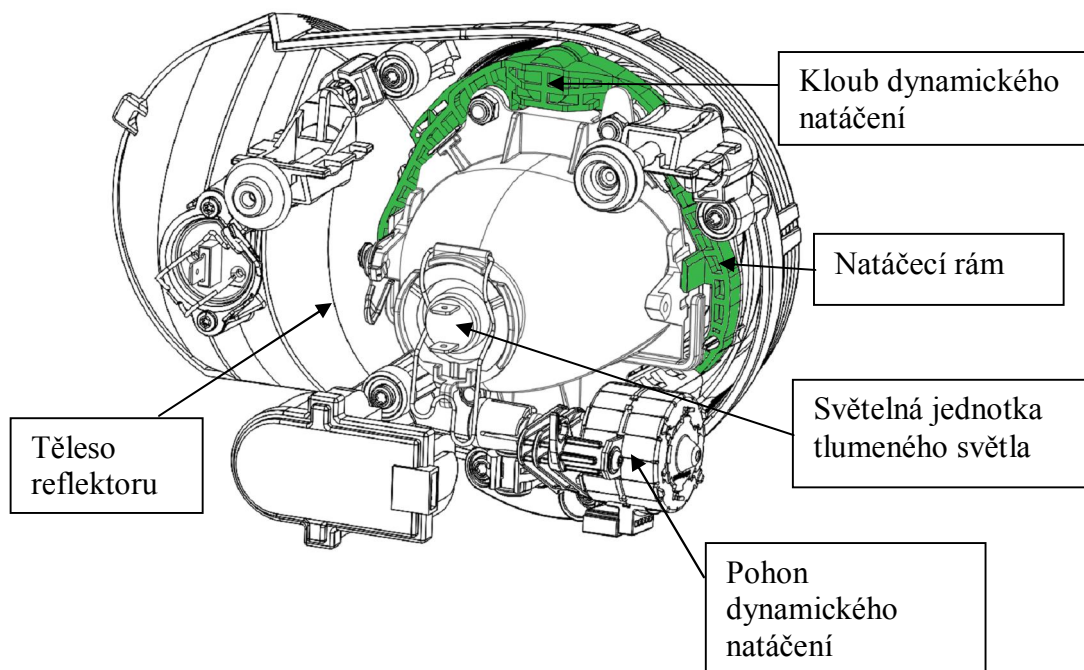
*Obr. 3.2 Režimy AFS systému*

### 3.1. Skladba světelné jednotky s modulem pro dynamické natáčení svazku

Světelná jednotka předního osvětlení automobilu se systémem dynamického natáčení světelného svazku je součástí řešení AFS (viz předchozí kapitola) a skládá se obvykle z více komponentů než klasické světelné jednotky (obr. 3.3).

Na příkladu dynamické světelné jednotky Fordu Focus lze ukázat následující základní části:

- TĚLESO REFLEKTORU nebo nosný rám tvoří základní nosný prvek pro uchycení dálkového i tlumeného světla.
- KLOUB DYNAMICKÉHO NATÁČENÍ je připevněn k natáčecímu rámu - dva klouby definují osu rotace modulu do stran.
- NATÁČECÍ RÁM tvoří spojovací prvek mezi tělesem reflektoru a světelným modulem.
- SVĚTELNÁ JEDNOTKA TLUMENÉHO SVĚTLA může být tvořena různými zdroji (halogenové žárovky, xenonové výbojky, optické soustavy na bázi LED zdrojů).
- POHON DYNAMICKÉHO NATÁČENÍ zajišťuje natočení světelného modulu do polohy určené řídicí jednotkou (obvykle v souladu s natočením volantu).



Obr. 3.3 Příklad světelného modulu AFS pro světlomet Ford Focus



## **4. MODULÁRNÍ PROJEKTOROVÉ JEDNOTKY S DYNAMICKÝM NATÁČENÍM SVĚTELNÉHO SVAZKU AFS**

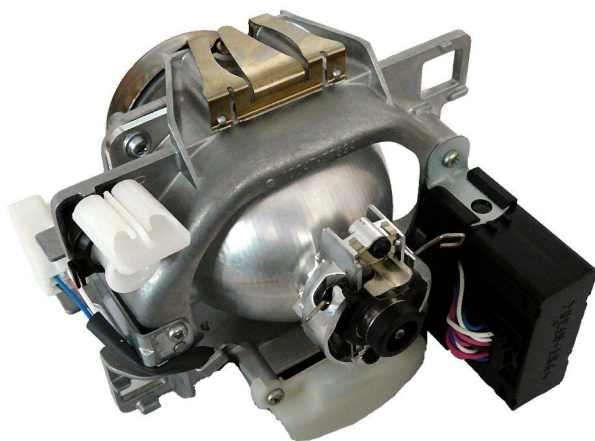
Každý výrobce automobilové světelné techniky si definuje svůj vlastní koncept světelného modulu AFS, viditelné jsou rozdíly z hlediska konstrukce, výroby a použitých materiálů. Faktory využití odlišných postupů a stylů provedení světelných modulů:

- vyspělost technických prostředků a míra vzdělání pracovníků,
- znalosti a zkušenosti se zpracováním materiálů,
- dostupnost a cena surovin (hliníkové slitiny, plasty, plech atd.),
- požadavky investorů,
- míra sériovosti výroby,
- další požadavky.

Pro názornost bude dále uveden přehled výrobků několika firem zabývajících se vývojem a výrobou světelných modulů s dynamickým natáčením světelného svazku.

### **4.1. Firma Koito 2. generace**

Firma Koito používá pro výrobu nosného rámu a projektoru slitiny hliníku. Natáčení projektoru je umožněno pouze na jednu stranu a to vždy na stranu krajnice (obr. 4.2b), což je pravděpodobně koncepční záměr. To znamená, že pokud vozidlo jede do pravotočivé zatáčky, pravé světlo se začne natáčet vpravo a levé světlo zůstane v přímé poloze (obr. 4.2a). Způsob uložení projektoru v rámu vykazuje značné vřle a to jak ve směru osy rotace tak i v rovině kolmé k ose rotace. Následující obrázky 4.1 a 4.2 ukazují sestavu světelného modulu a způsob konstrukčního řešení firmou Koito.

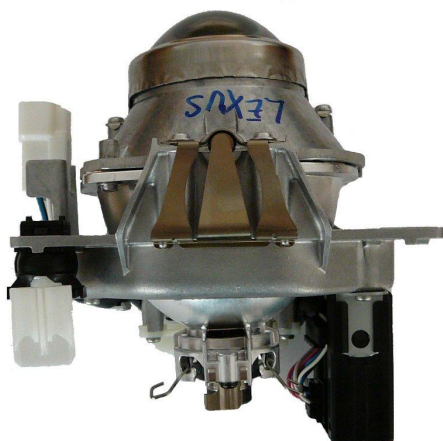


*a) pohled na modul zezadu*



*b) pohled na modul zepředu*

*Obr. 4.1 Styl řešení a skladba modulu*



*a) modul ve výchozí poloze*



*b) modul při maximálním natočení*

*Obr. 4.2 Rozsah natáčení modulu*

## 4.2. Firma Valeo

Firma Valeo vyráběla zpočátku projektorové moduly převážně ze slitin hliníku a s novou generací přešla na širší aplikaci plastových výlisků.

### a) Generace 1

Styl řešení firmy Valeo (obr. 4.3 a 4.4) je podobný s řešením Koito ve volbě materiálu (hliníkové slitiny), ale již zde vidíme záměr optimalizovat konstrukci. Nosný rám není tak

masivní a uložení osy rotace je přesnější. Natáčení u tohoto typu dynamického modulu je umožněno na obě strany. Zpracování hliníkových odlitků není zcela přesné. U firmy Valeo se začíná vyskytovat více plastových součástí, které zajišťují spojení rámu s dalšími prvky světlometu a také prvky zajišťující seřizování projektoru ve světlometu (obr. 4.4).

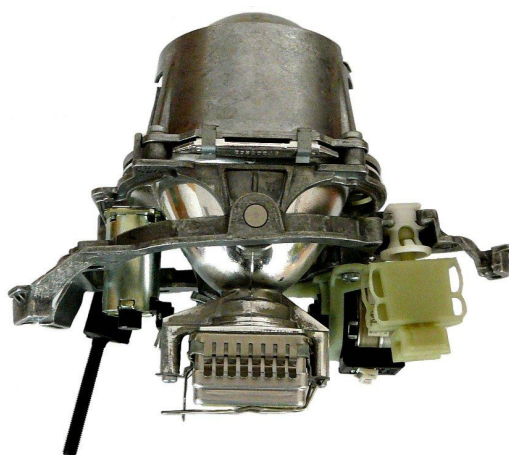


*a) přední levá strana*



*b) přední pravá strana*

*Obr. 4.3 Pohled na modul – konstrukce a úchytné prvky*



*Obr. 4.4 Pohled na modul shora*

## b) Generace 2

V druhé generaci firma Valeo ustupuje od používání hliníkových slitin jako hlavního konstrukčního materiálu a začíná se soustředit na využití plastů s vysokou teplotní odolností (obr. 4.5 a 4.6). Také byla provedena změna polohovacího zařízení. Nosný rám je vyvíjen obvykle pro každý světlomet specifický, podle požadavků daného projektu, s použitím

určitých standardních prvků. Použitím standardních prvků se vývoj modulu urychluje a zlevňuje. Nosné rámy vytvářené z plastu mohou být opatřeny kovovým povlakem pro lepší ochranu proti působení tepla sálajícího ze světelného zdroje.



*a) zadní levá strana*



*b) zadní pravá strana*

*Obr. 4.5 Pohled na modul – konstrukce a úchytné prvky*



*Obr. 4.6 Pohled na modul zepředu*

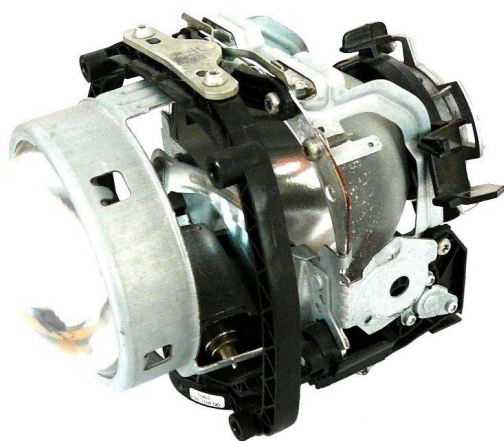
### **4.3. Firma Hella**

Firma Hella se od začátku vývoje a výroby dynamických světelných modulů zaměřuje především na využívání výlisků z plechu a z plastické hmoty.



## a) Generace 1

První generace projektorových jednotek společnosti Hella přináší modernější konstrukční materiály a jiný styl konstrukce. Z hliníkových slitin je vyroben pouze držák žárovky (obr. 4.8a), ostatní součástky jsou vyrobeny z plechu nebo z plastu. Z jednotlivých obrázků 4.7 a 4.8 je patrna snaha o optimalizaci s maximálním využitím prostoru vzhledem k co nejmenšímu tvaru modulu ve světlometu a tudíž i hmotnosti celého modulu. Na obr. 4.8b je zobrazeno umístění osy rotace za nosným rámem. U předešlých konceptů firem byly osy umísťovány vždy před nosným rámem. Celý modul vypadá velice kompaktně. Nosný rám modulu je vyroben z plastické hmoty, a to přináší snížení hmotnosti celého modulu, narozdíl od nosného rámu vyrobeného z hliníkových slitin.



*a) modul zleva zepředu*

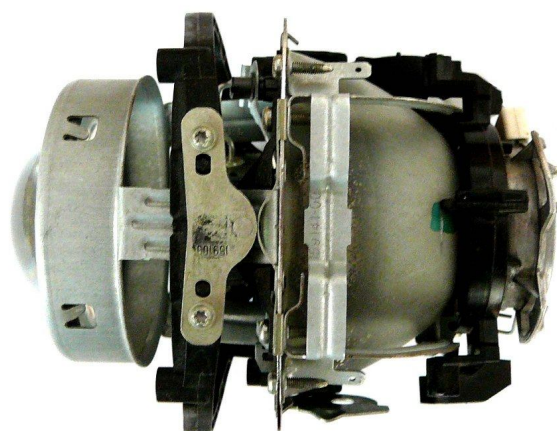


*b) modul zprava zepředu*

*Obr. 4.7 Použití různých materiálů*



*a) modul zezadu*



*b) modul shora*

*Obr. 4.8 Minimální zástavbový prostor*

## b) Generace 2

Druhá generace světelných modulů (obr. 4.9 a 4.10) a tím i nosných rámu ukazuje na vývoj společnosti a zvládnutí moderních technologií v oblasti tváření kovů i v oblasti zpracování plastů. Konstrukce nosného rámu a natáčecího zařízení je mnohem propracovanější a jejich tvary dostávají nový design.



*a) modul shora*



*b) modul zprava zepředu*

*Obr. 4.9 Pohled na modul a konstrukci rámu*



*Obr. 4.10 Pohled na modul shora*

### c) Složení rámu generace 2

Celkový rám (obr. 4.11 a 4.13) se skládá ze dvou základních částí.

První částí je standardní sestava natáčecího mechanismu s motorem a převodovkou (obr 4.12a, 4.14), kterou společnost používá u všech svých výrobků a tím šetří své náklady.

Druhou částí je nosný rám (obr. 4.12b), který tvoří spojovací článek mezi standardní sestavou natáčecího mechanismu a nosného pouzdra světlometu. Tento nosný rám je konstruován pro každý typ světlometu nový.



*a) pohled zepředu*



*b) pohled zezadu*

*Obr. 4.11 Celková sestava rámu*



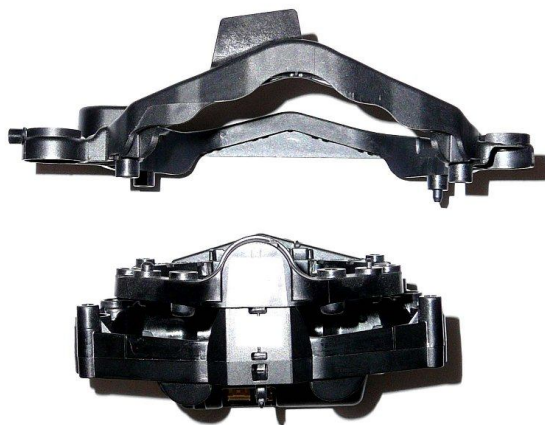
*a) standardní AFS modul*



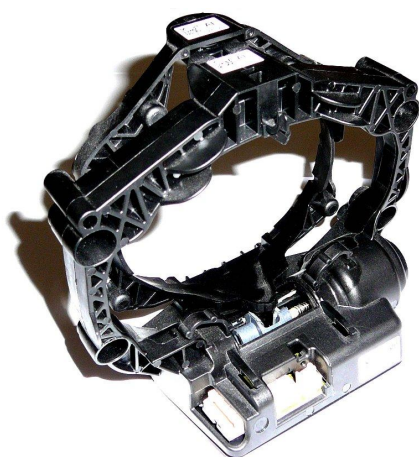
*b) specifický nosný rám*

*Obr. 4.12 Rozložený celkový rám – čelní pohled*

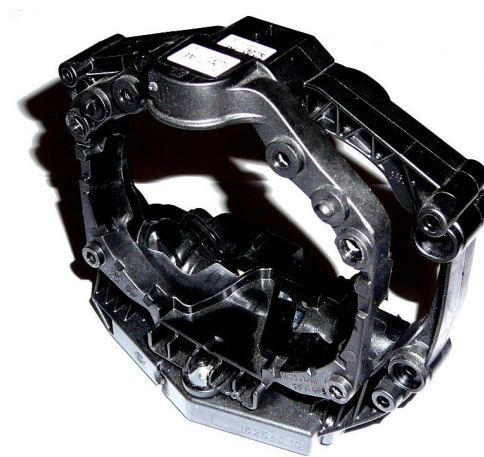




*Obr. 4.13 Rozložený celkový rám – pohled shora*



*a) pohled zezadu*



*b) pohled zepředu*

*Obr. 4.14 Sestava standardního AFS modulu*

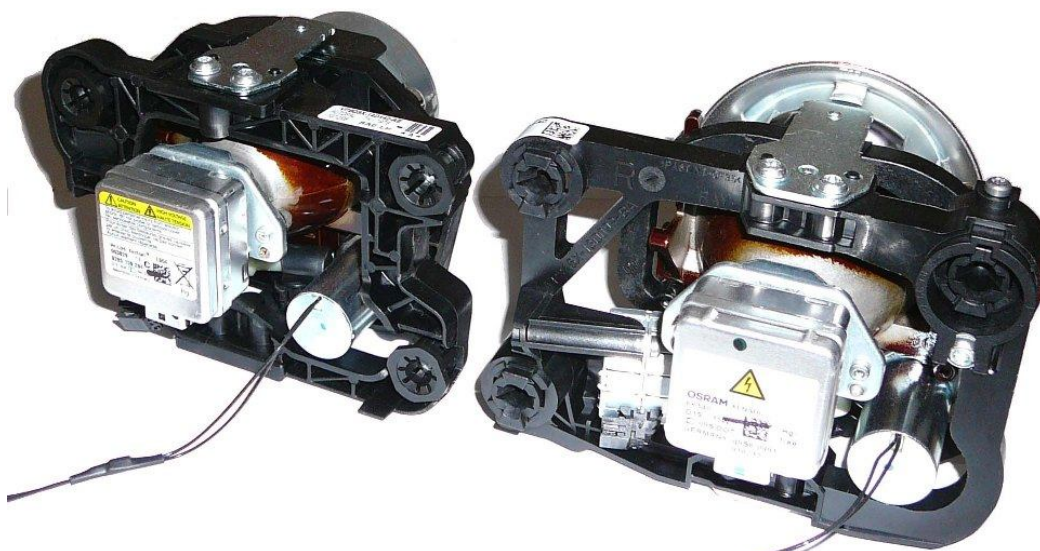
#### **4.4. Firma Visteon**

##### **a) Generace 1**

Společnost Visteon přistupuje k řešení modulu takto - používá maximální možný počet standardních dílů a postupů, ale nosný rám konstruuje vždy nový podle požadavků zákazníka. Moduly první generace se skládají ze dvou typů rámu. První rám zajišťuje připojení projektoru k nosnému rámu. Druhý připojuje celý modul do nosného pouzdra světlometu. Na obrázcích 4.15 – 4.19 jsou vidět dvě varianty řešení celého modulu pro americký trh.



Na obrázcích 4.18 a 4.19 můžeme sledovat vývoj a změny jak konstrukce, tak vývoj standardních dílů. Starší úchytné prvky se do nosného rámu uchycovaly pomocí šroubů. Novější úchytné prvky se do rámu zamykají bajonetovým principem. Také můžeme pozorovat optimalizaci rámu držícího projektor.



*a) modul pro světlomet Cadillac*

*b) modul pro světlomet Lincoln*

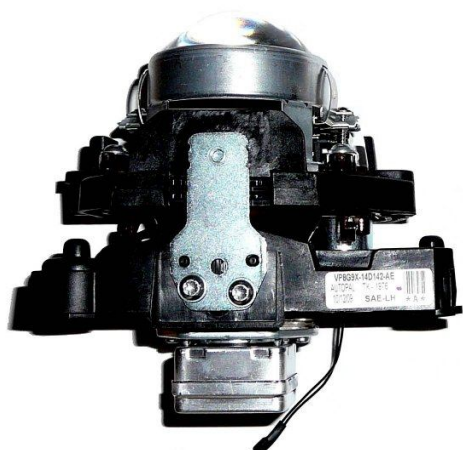
*Obr. 4.15 Zadní pohled na moduly pro americký trh*



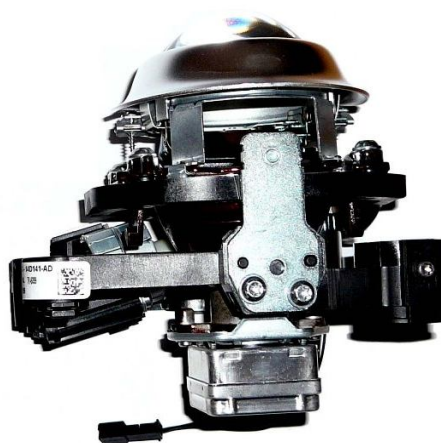
*a) modul pro světlomet Cadillac*

*b) modul pro světlomet Lincoln*

*Obr. 4.16 Přední pohled na moduly pro americký trh*

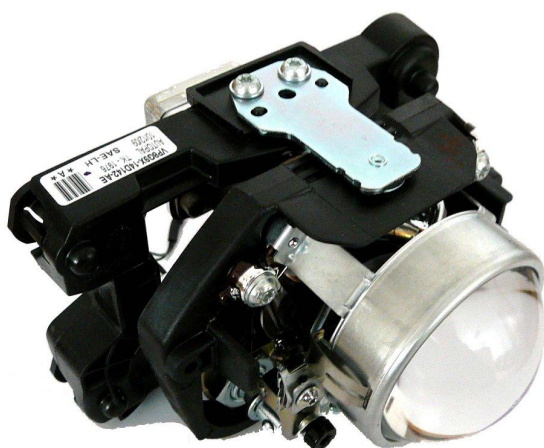


*a) modul pro světlomet Cadillac*



*b) modul pro světlomet Lincoln*

*Obr. 4.17 Horní pohled na moduly pro americký trh*



*a) pohled zepředu*

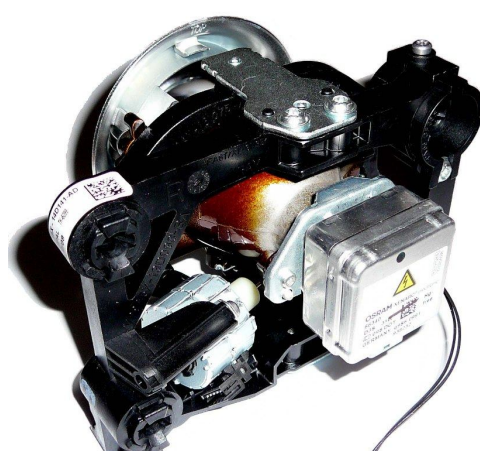


*b) pohled zezadu*

*Obr. 4.18 Dřívější provedení první generace - Cadillac*



*a) pohled zepředu*



*b) pohled zezadu*

*Obr. 4.19 Novější provedení první generace - Lincoln*

## b) Generace 2

Druhá generace modulů společnosti Visteon (obr. 4.20 a 4.21) vykazuje vyspělejší a dokonalejší provedení konstrukce. Místo dvou rámců používaných v 1. generaci, je zde použit rám jeden, který je optimalizován pro každý typ světlometu. Také zde používají nový typ polohovacího zařízení, což umožnilo snížení rozměru celého modulu.



*a) pohled zezadu zleva*



*b) pohled zezadu zprava*

*Obr. 4.20 Provedení druhé generace*



*Obr. 4.21 Modul druhé generace se vzhledovou maskou*



## **5. DŮRAZ NA EFEKTIVNÍ KONSTRUKCI NOSNÝCH RÁMŮ**

### **5.1. Cena/výkon**

V rámci zajištění efektivní konstrukce nosných rámů je třeba již na začátku vývoje stanovit kritéria a určit jejich důležitost a pořadí plnění. Hlavní kritéria mohou být rozdělena takto:

- kritérium okrajových podmínek (obálka určená zákazníkem, kinematika a uchycení světelného modulu standardní nebo tvorba nových úchytných bodů, atd.),
- kritérium konstrukce pro minimální cenu (snížení objemu materiálu, použití levnějšího materiálu při zachování požadovaných vlastností),
- kritérium konstrukce pro maximální výkon (objem materiálu nesmí překročit stanovený limit, musí být dosaženo maximálního zvýšení robustnosti a tuhosti),
- kritérium materiálu – levný materiál (podle specifikace termoplast nebo BMC = termoset), podle volby materiálu je nutno vhodně upravit konstrukci tak, aby splňovala limit tuhosti a maximálně využila technologii umožněnou materiálem (tloušťky stěn, tloušťka dna, tvar a způsob napojení žeber atd.).

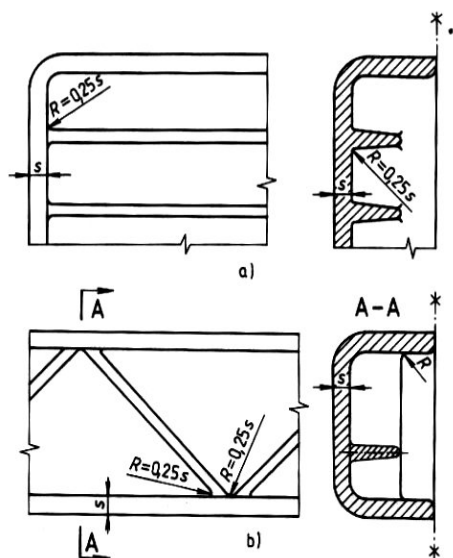
### **5.2. Optimalizace pro sériovou produkci**

Pro optimalizaci nosných rámů vyráběných velkosériově přibývají další kritéria ovlivňující způsob konstrukce. Mohou to být:

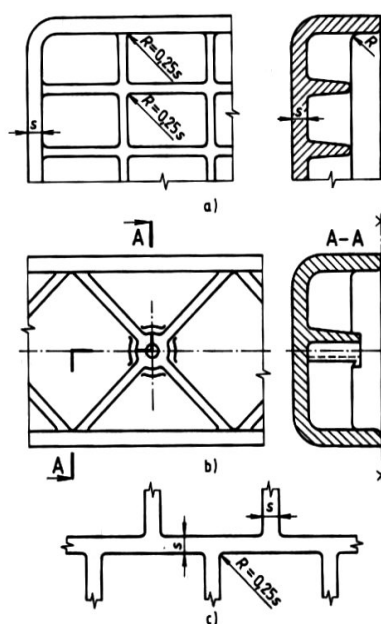
- kritérium výrobitelnosti,
- kritérium formovatelnosti (minimální počet šoupátek snižuje nároky na konstrukci, výrobu a servis formy a obvykle prodlužuje její životnost),
- kritérium nákladů na výrobu formy (pro větší série lze využít dražší a kvalitnější formu s vyšší životností nebo s vyšším počtem kavit – náklady se vrátí v rámci většího objemu výroby),
- kritérium objemu materiálu a času lisování (lepší využití kapacit lisů a nástrojů atd.).

### 5.3. Konstrukční možnosti s důrazem na výrobitelnost

Způsob a umístění žeber má vliv na tuhost výrobků (7). Použití žeber rovnoběžných se stěnami (obr. 5.1a a obr. 5.2a) způsobuje zvýšení tuhosti v ohybu, ale jen v jednom směru. Diagonální žebrování (obr. 5.1b a obr. 5.2b) zvyšuje tuhost jak v ohybu, tak v krutu. Diagonální žebrování (obr. 5.1b a obr. 5.2b) zvyšuje tuhost jak v ohybu, tak v krutu.

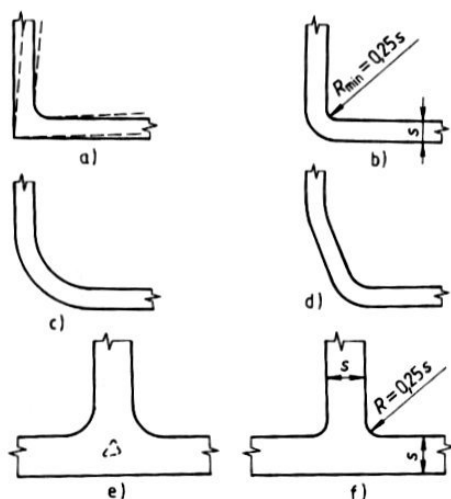


Obr. 5.1 Jednoduché žebrování  
a) rovnoběžné  
b) diagonální



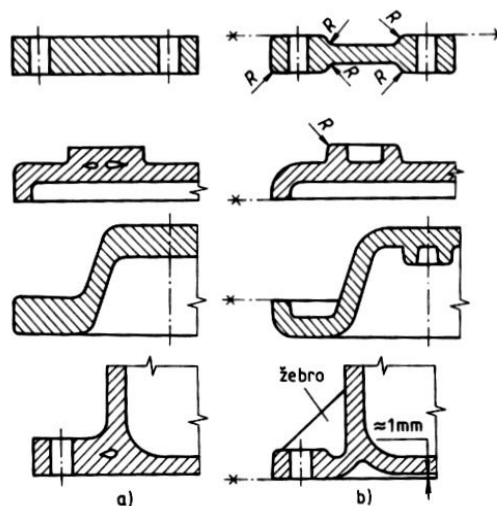
Obr. 5.2 Křížové žebrování  
a) rovnoběžné se stěnou  
b) diagonální  
c) přesazené

Zaoblení rohů stěn plastových výlisků (obr. 5.3) je nutné pro správný tok materiálu ve formě, aby nevznikaly ve výrobku defekty. Také je důležité zachovávat konstantní tloušťku stěn (obr. 5.4), která by se měla pohybovat v rozmezí 1 až 4 mm. Konstrukce otvoru pro šrouby (obr. 5.5) se liší podle jejich umístění.



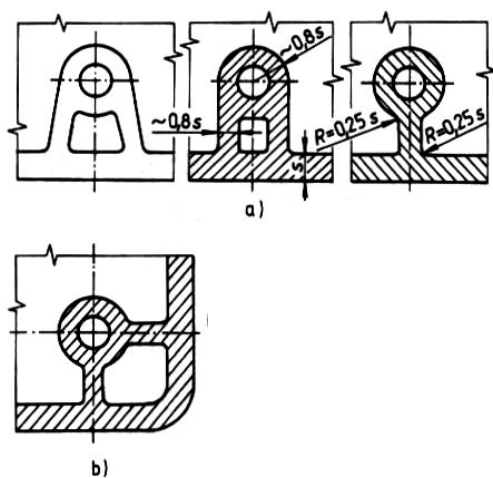
Obr. 5.3 Zaoblení stěn

- a) nevhodné
- b) vhodné
- c), d) zvlášť vhodné
- e) nevhodné
- f) správné



Obr. 5.4 Rovnoměrnost tloušťky stěn

- a) nevhodné
- b) vhodné



Obr. 5.5 Konstrukce úchytných bodů

- a) u stěny
- b) v rohu

Výše uvedená doporučení jsem využil v praktické části diplomové práce při návrhu nosného rámu. Přínos některých výše uvedených obecných doporučení nebyl v praxi stoprocentně potvrzen a v určitých konkrétních případech jsem přistoupil k aplikaci konstrukčních řešení nerespektující tato obecná doporučení.

## 6. ZJIŠTĚNÍ VLASTNOSTÍ NOSNÉHO RÁMU SVĚTELNÉHO MODULU A URČENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Cílem praktické části mé diplomové práce byla příprava optimalizovaného nosného rámu světelného modulu AFS, který má stejnou tuhost, ale nižší hmotnost než definovaný výchozí rám.

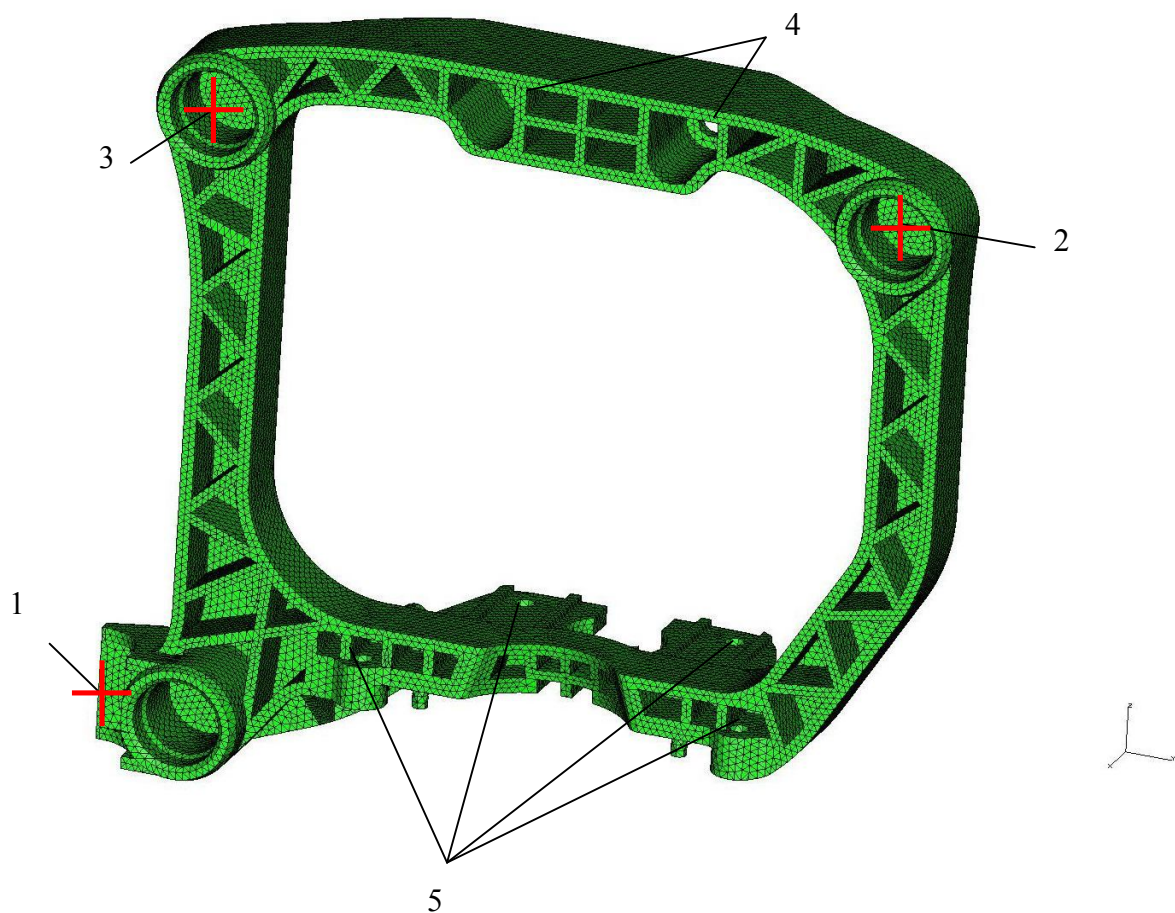
Pro stanovení okrajových podmínek bylo nejprve nutné zjistit, jaké jsou vlastní frekvence (dále jen v. f.) výchozího rámu. Aby je bylo možno vypočítat, musel být nosný rám uchycen do výpočtového prostředí systému I-DEAS [1] a v něm spojen se světelným modulem (dále jen modul). Výpočet byl nastaven takto:

Body 1, 2, 3 (obr. 6.1) vycházejí z kinematiky seřizování světlometu a zajišťují spojení nosného rámu s nosným pouzdem světlometu. Tyto body jsou tvořeny kloubovou vazbou s různými stupni volnosti:

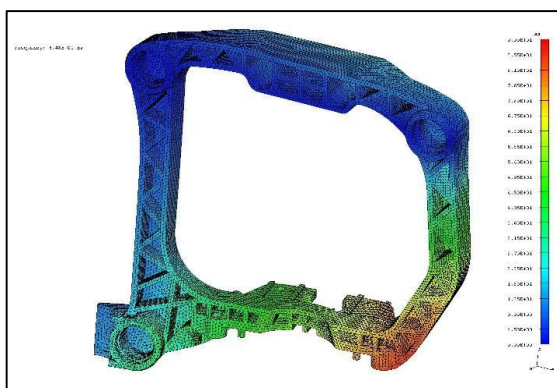
1. bod obsahuje 5 stupňů volnosti, jsou to 3 rotace a posun v ose y a z,
2. bod obsahuje 4 stupně volnosti, jsou to 3 rotace a posun v ose y,
3. bod obsahuje 3 stupně volnosti, jsou to 3 rotace.

Dva horní otvory v rámu (obr. 6.1 pozice 4) zajišťují spojení se standardní sestavou kloubu projektorového modulu a pomocí čtyř spodních otvorů je do nosného rámu upevněna sestava motoru s převodovkou, která zajišťuje natáčení světelného modulu do stran (obr. 6.1 pozice 5).

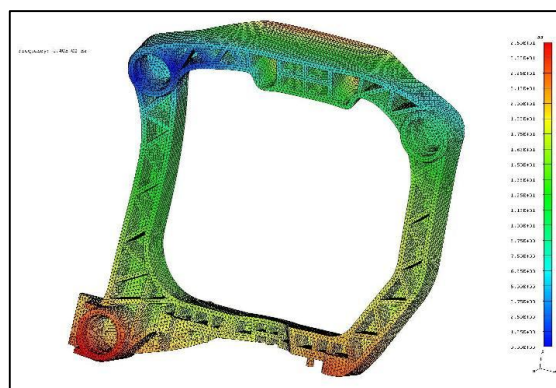
Ostatní nastavení bylo provedeno podle doporučení zadávající firmy tak, aby výpočtové prostředí co nejvíce odpovídalo skutečnosti. Po výpočtu jsem zjistil, že rám má první dvě vlastní frekvence 64,8 Hz a 140 Hz a objem 43,12 cm<sup>3</sup> (obr. 6.2). Tyto výsledky jsem označil jako výchozí hodnoty kompletního rámu.



Obr. 6.1 – Výchozí nosný rám – základní údaje



a) 1. vlastní frekvence



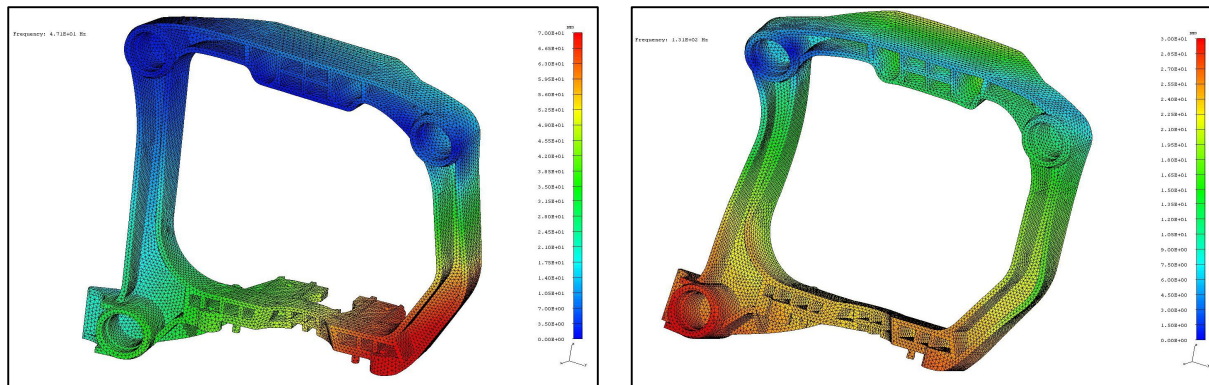
b) 2. vlastní frekvence

Obr. 6.2 – Výchozí nosný rám

Tvorbu geometrie nosného rámu a jeho úpravy jsem prováděl v modelářském prostředí systému Catia V5 [2].



Po odstranění žeber výchozího rámu a provedení výpočtu jsem zjistil vlastní frekvence 47,1 Hz a 131 Hz při objemu 38,64 cm<sup>3</sup> (obr. 6.3). Výsledky tohoto rámu jsem označil pro další postupy jako výchozí hodnoty rámu bez žeber.

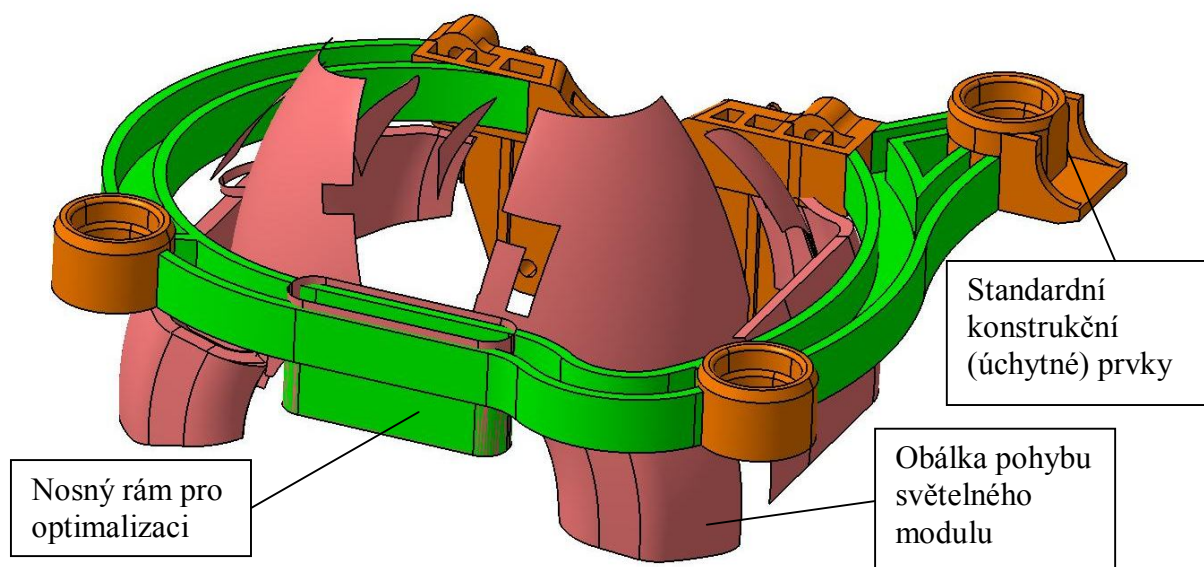


a) 1. vlastní frekvence

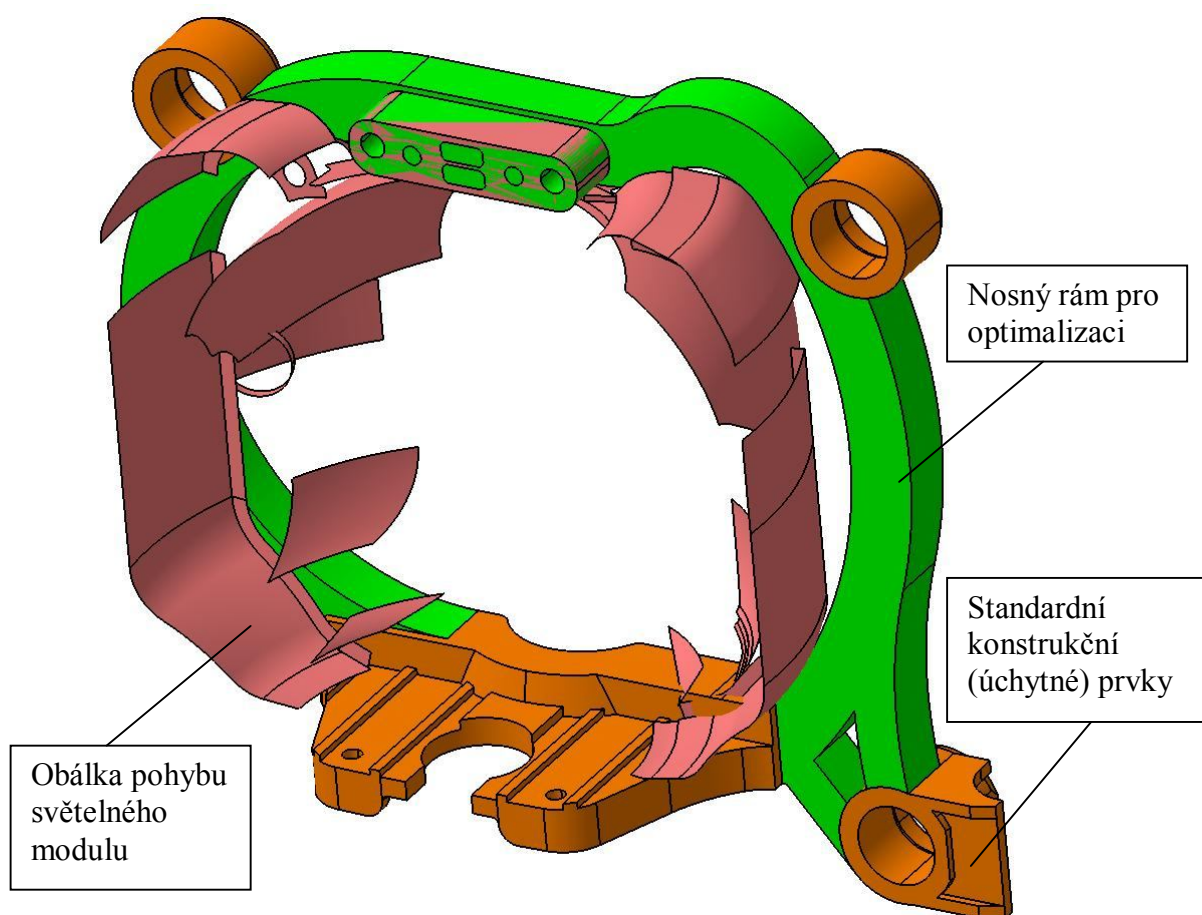
b) 2. vlastní frekvence

Obr. 6.3 – Výchozí nosný rám bez žeber

Pro další postup řešení této problematiky jsem vymezil prostor, ve kterém může být rám vytvářen. Tento prostor z vnitřní strany určuje modul, který koná rotační pohyb kolem svislé osy o  $8,5^\circ \pm 1^\circ$  vpravo a o  $15^\circ \pm 1^\circ$  vlevo. V těchto konečných polohách natočení má být zachována mezera 2 mm mezi modulem a rámem. Nový rám nemá překročit vnější plochy výchozího rámu a připojovací prvky musí zůstat ve stejných polohách a musí zachovat stejný tvar pro zajištění kompatibility s navazujícími prvky. Po vybrání kritických ploch z povrchu modulu a jejich odsazení o 2 mm vznikl prostor, v němž smí být nosný rám zkonstruován (obr. 6.4).



a) zadní pohled



b) čelní pohled

Obr. 6.4 – Vymezení operačního prostoru

## 7. ZJIŠŤOVÁNÍ KOMPLEXNÍCH TVARŮ NOSNÉHO RÁMU

Celé řešení optimalizace nosného rámu jsem rozdělil do dvou základních částí.

V první části se zabývám zkoumáním topologie rámu a volbou základních průřezů, při jejichž použití by se měla první vlastní frekvence rámu pohybovat kolem 47 Hz.

V druhé části se zabývám způsobem vyplnění základního tvaru žebry a hledáním jejich optimálních tvarů a rozmístění.

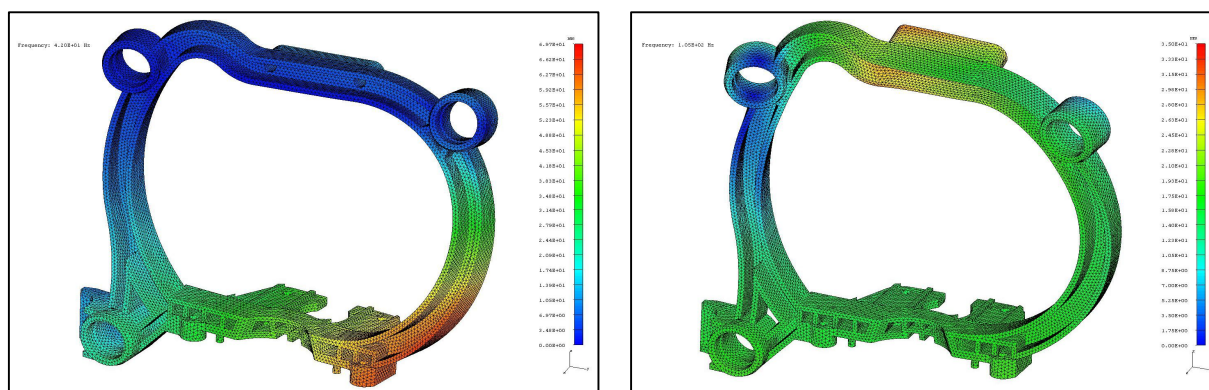
Výsledný rám má mít první vlastní frekvenci rovnou nebo vyšší než 64,8 Hz a objem roven nebo nižší než  $43,12 \text{ cm}^3$ , což jsou hodnoty vzorového rámu, který má být optimalizován.

### 7.1. Topologie rámu

#### Plynulé přechody

Preferencí této varianty bylo provést co nejplynulejší přechody mezi jednotlivými částmi rámu. Cílem byla snaha zjistit, zda plynulé napojení jednotlivých dílů je pro tuhost rámu významná či nikoliv (obr. 7.1).

První návrh (rám 1) konstrukce nosného rámu nesplňuje omezující podmínky tím, že přesahuje vnější plochy výchozího rámu.



a) 1. vlastní frekvence

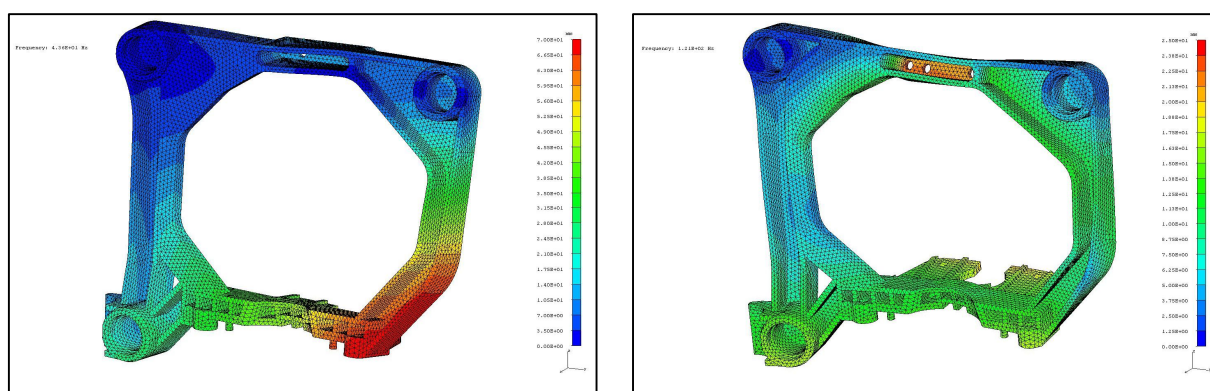
b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.1 – Rám 1 – plynulé napojení standardních dílů

Z výsledků jsem zjistil, že vlastní frekvence jsou nižší, a to 42 Hz a 105 Hz, ale je zde také menší objem 33,81 cm<sup>3</sup>. Nedá se tedy jednoznačně potvrdit ani vyvrátit užitečnost plynulých přechodů. Také je zřejmé, že v praxi je tento přístup nevyužitelný, protože v těsné blízkosti rámu bývají další komponenty, kterým by rám překážel.

### Maximální využití prostoru

Další variantou (rám 2) přístupu k docílení vyšší tuhosti byla snaha o využití maximálního operačního prostoru s dodržením okrajových ploch (obr. 7.2).



a) 1. vlastní frekvence

b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.2 – Rám 2 – maximální využití prostoru

Hodnoty maximálního rámu jsou 43,6 Hz a 121 Hz při objemu 39,21 cm<sup>3</sup>. Když porovnám tyto dva přístupy řešení, vidím, že ani jeden z nich neukazuje jasnou cestu k dosažení maximální tuhosti. Ani jednou metodou jsem nedosáhl vyšší první vlastní frekvence ani druhé, než jsou hodnoty výchozího rámu a objem se také nezmenšil. Přehled výsledků viz tab. 7.1.

Tab. 7.1 – Hodnoty komplexních tvarů

Název rámu	1. v. f. [Hz]	2. v. f. [Hz]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
Výchozí rám bez žeber	47,1	131	38,64
Rám 1	42	105	33,81
Rám 2	43,6	121	39,21

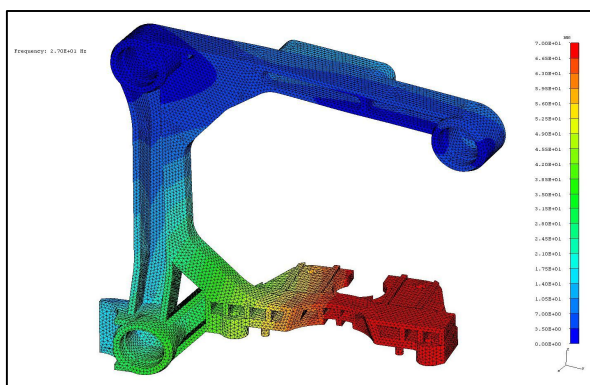


## Vliv odstranění jedné strany

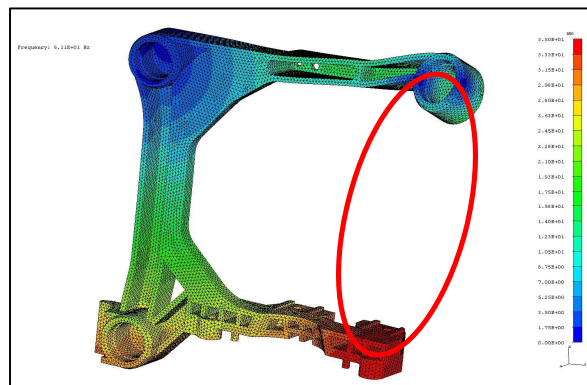
Rám 21 (obr. 7.3) je modifikací rámu 2, kdy jsem odstranil nosník spojující úchytný bod 2 s držákem pro převodovku. Touto úpravou jsem chtěl ověřit, zda tento nosník je pro celkovou tuhost důležitý a zda je možné nosník odstranit a tím snížit hmotnost rámu. Výsledek ovšem ukázal, že vlastní frekvence poklesly na poloviční hodnoty rámu 2 a objem klesl jen o 5,55 cm<sup>3</sup>.

Nový rám 211 jsem opatřil žebry tloušťky 1,6 mm (obr. 7.4) se záměrem zjistit účinek vyztužení a rozhodnout o dalším postupu optimalizace.

Po úpravě jsem dosáhl výrazného zlepšení první vlastní frekvence při mírném nárůstu objemu, ale druhá vlastní frekvence se v podstatě nezměnila. Proto jsem provedl úpravu ve smyslu přidání odstraněného spojovacího nosníku, a tak vznikl rám 22 (obr. 7.5). Nosník jsem vytvořil prostorovým obloukem z U-profilu o rozměrech 6 x 10 mm s tloušťkou stěny a dna 2 mm. Výpočtem získané hodnoty byly 48,7 Hz a 110 Hz při objemu 40,1 cm<sup>3</sup>. Z toho jsem usoudil, že rám musí mít uzavřený tvar. Porovnání výsledků viz tab. 7.2.

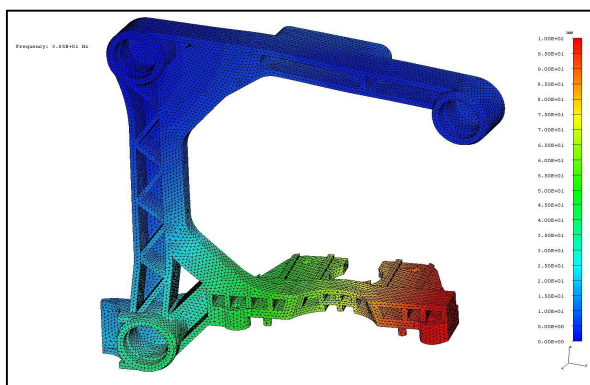


a) 1. vlastní frekvence

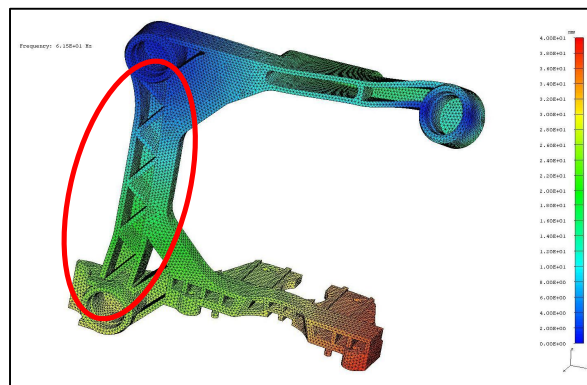


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.3 – Rám 21 – odstranění pravého nosníku

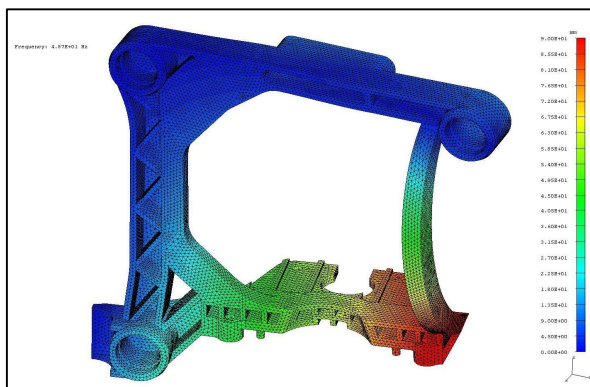


a) 1. vlastní frekvence

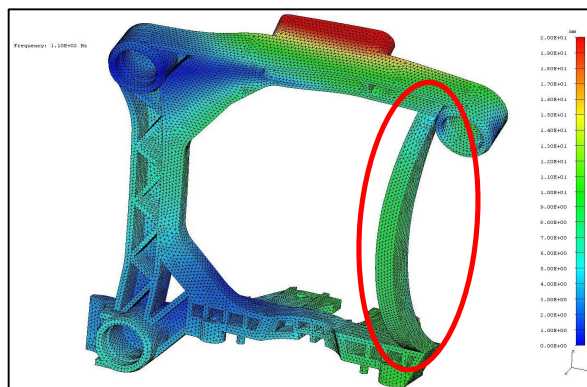


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.4 – Rám 211 – vyztužení levého nosníku



a) 1. vlastní frekvence



b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.5 – Rám 22 – prostorový oblouk

Tab. 7.2 – Hodnoty vlivu odstranění jedné strany

Název rámu	1. v. f. [Hz]	2. v. f. [Hz]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
Rám 21	27	61	33,66
Rám 211	39	62	36,02
Rám 22	48,7	110	40,1

### Hledání optimálního profilu ramene

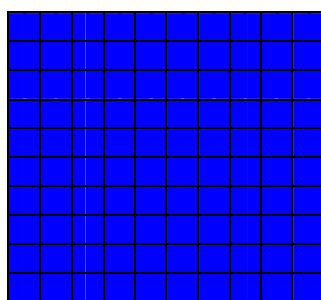
Během dosavadních výpočtů jsem zjistil následující chování rámu.

- Při 1. vlastní frekvenci rámy kmitají kolem osy tvořené úchytnými body 1 a 3. Z této vlastnosti vyplývá, že levý nosník je namáhán především krutem. Horní nosník je při první vlastní frekvenci namáhán jen minimálně (předimenzován).
- Při 2. vlastní frekvenci nastává rotace kolem bodů 2-3 a levý nosník je namáhán ohybem. Jelikož torzní kmitání se na vlastní frekvenci rámu podílelo nejvíce, musel jsem zjistit, jaký typ profilu má největší polární moment setrvačnosti.

Proto jsem za pomoci programu MITCalc [4] sestavil přehled tvarů (obr. 7.6), které je možné umístit do průřezu levého nosníku o rozměrech 10 x 10 mm. První hodnota udává velikost polárního momentu setrvačnosti a druhá hodnota udává využitou plochu průřezu. Tloušťka stěn profilů je 2 mm.

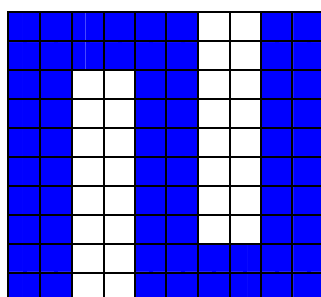
Obr. 7.6 – Přehled profilů (polární moment setrvačnosti, plocha průřezu)

Profil 1



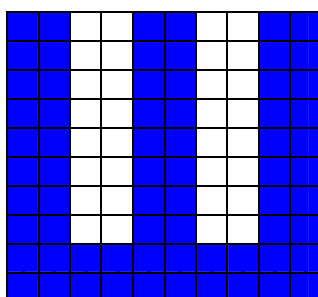
$1666 \text{ mm}^4$ ,  $100 \text{ mm}^2$

Profil 2



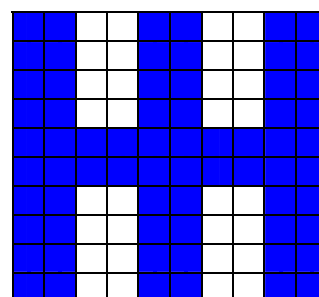
$1325 \text{ mm}^4$ ,  $68 \text{ mm}^2$

Profil 3



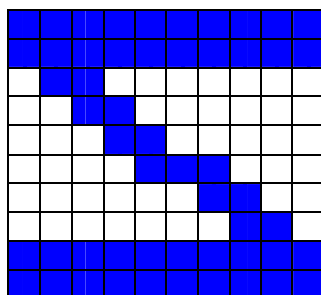
$1310 \text{ mm}^4$ ,  $68 \text{ mm}^2$

Profil 4



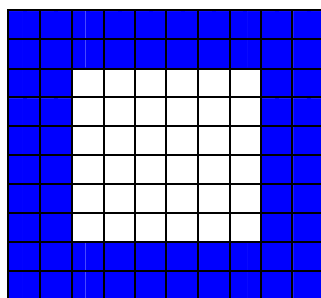
$1197 \text{ mm}^4$ ,  $68 \text{ mm}^2$

Profil 5



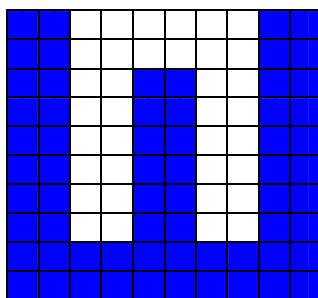
$1211 \text{ mm}^4$ ,  $65 \text{ mm}^2$

Profil 6



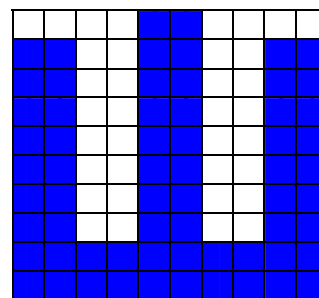
$1451 \text{ mm}^4$ ,  $64 \text{ mm}^2$

Profil 7



$1223 \text{ mm}^4$ ,  $64 \text{ mm}^2$

Profil 8



$1140 \text{ mm}^4$ ,  $64 \text{ mm}^2$

1188 mm<sup>4</sup>, 60 mm<sup>2</sup>

1102 mm<sup>4</sup>, 60 mm<sup>2</sup>

996 mm<sup>4</sup>, 60 mm<sup>2</sup>

A 10x10 grid with a 6x6 white square in the center and a 2x2 black square in the bottom-left corner.

1174 mm<sup>4</sup>, 52 mm<sup>2</sup>

1026 mm<sup>4</sup>, 52 mm<sup>2</sup>

898 mm<sup>4</sup>, 52 mm<sup>2</sup>

829 mm<sup>4</sup>, 52 mm<sup>2</sup>

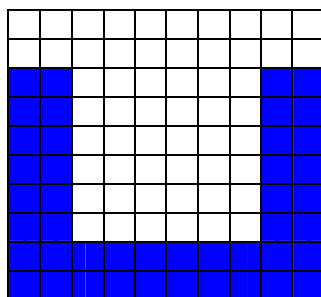
770 mm<sup>4</sup>, 52 mm<sup>2</sup>

916 mm<sup>4</sup>, 48 mm<sup>2</sup>

827 mm<sup>4</sup>, 48 mm<sup>2</sup>

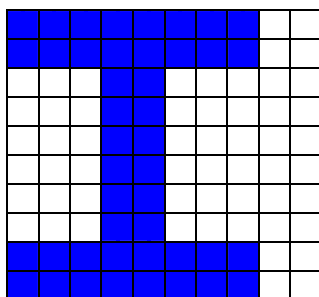


Profil 19



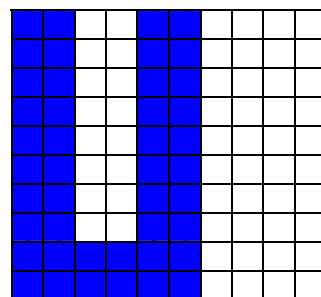
812 mm<sup>4</sup>, 44 mm<sup>2</sup>

Profil 20



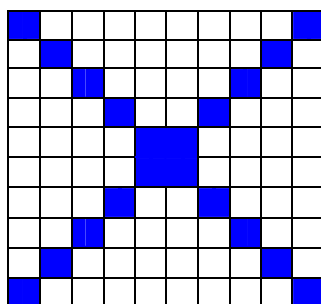
733 mm<sup>4</sup>, 44 mm<sup>2</sup>

Profil 21



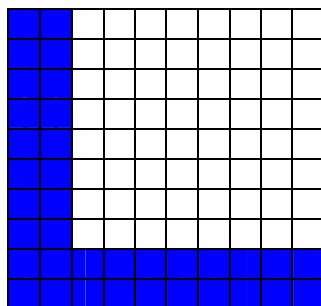
568 mm<sup>4</sup>, 44 mm<sup>2</sup>

Profil 22



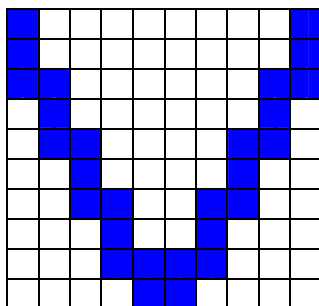
604 mm<sup>4</sup>, 38 mm<sup>2</sup>

Profil 23



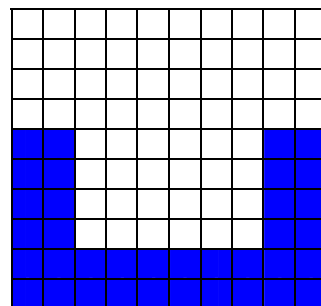
628 mm<sup>4</sup>, 36 mm<sup>2</sup>

Profil 24



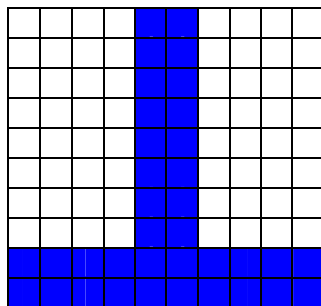
545 mm<sup>4</sup>, 36 mm<sup>2</sup>

Profil 25



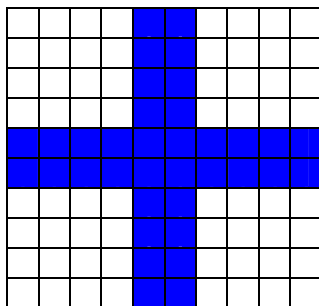
536 mm<sup>4</sup>, 36 mm<sup>2</sup>

Profil 26



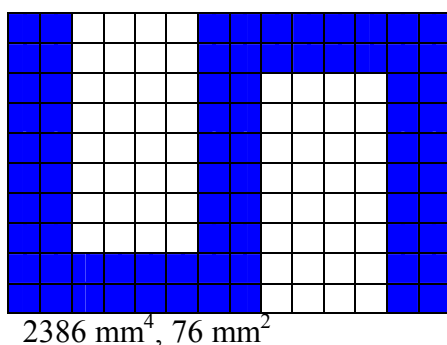
486 mm<sup>4</sup>, 36 mm<sup>2</sup>

Profil 27

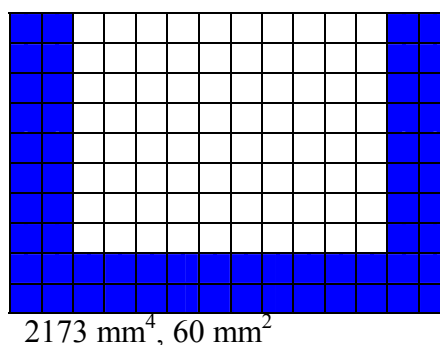


344 mm<sup>4</sup>, 36 mm<sup>2</sup>

Profil 28

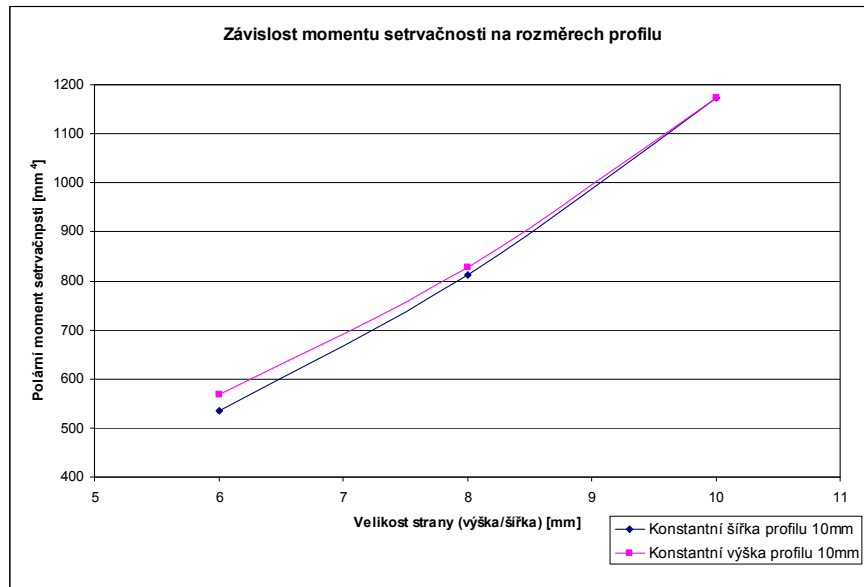


Profil 29

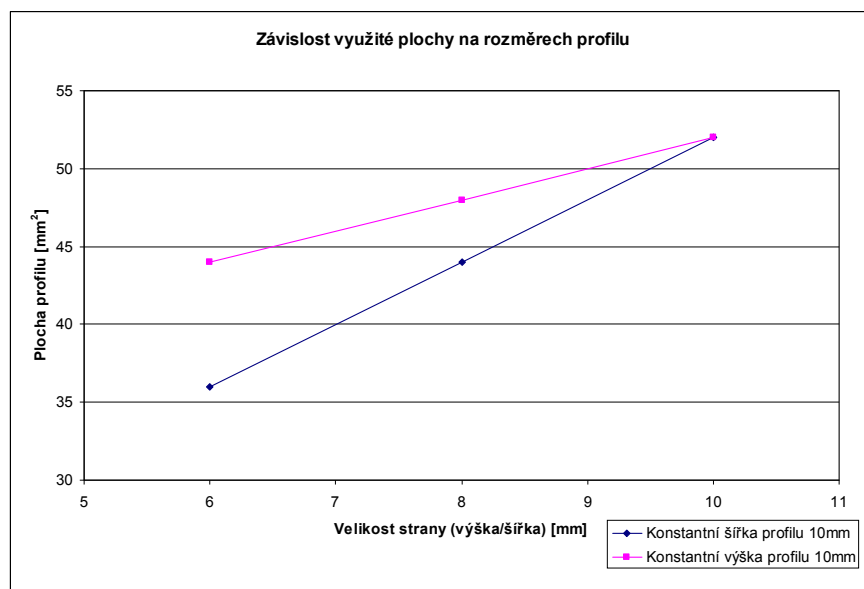


Z předchozího přehledu jsem vybral následující profily:

- Největší polární moment setrvačnosti má Profil 1, který využívá maximální plochu, ale vzhledem ke smršťování plastu je nevhodný (profil se po vychladnutí zdeformuje). V tomto případě nelze docílit úspory materiálů.
- Profil 6 je druhý nejtužší a spotřeba materiálu je o 36 % nižší než u Profilu 1. Nevýhoda spočívá v uzavření profilu, který je z hlediska technologie výroby bohužel nevýrobitelný.
- Jako třetí nejtužší profil je Profil 2 s objemem o 32 % nižším než Profil 1. Takto navrhnutý profil již splňuje požadavky technologie, ale přináší vyšší požadavky na konstrukci formy vzhledem k její dělicí rovině.
- Z hlediska výrobitelnosti a z hlediska složitosti vycházejí nejlépe U-profilu. Z nich největší polární moment setrvačnosti má Profil 12. U tohoto typu profilu jsem zkoumal, jaký vliv mají rozměry na polární moment setrvačnosti. Z následujícího obrázku 7.7 vyplývá, že bude-li profil spíše vyšší než širší, bude vůči namáhání krutem odolnější. Ovšem z hlediska využití plochy bude úspora materiálu větší, použijeme-li profil spíše širší než vyšší (viz obr. 7.8).
- V závěru přehledu jsem vybral dva nejvhodnější profily, rozšířeny do plochy o rozměrech 10 x 14 mm a vypočetl jsem jejich polární momenty setrvačnosti a využitou plochu průřezu. Jedná se o Profil 28 a 29. V obou případech dochází ke zvětšení plochy o 8 mm<sup>2</sup> a zvýšení polárního momentu setrvačnosti o 1000 mm<sup>4</sup>. Použití těchto profilů by mělo výrazně zvýšit tuhost nosného rámu, aniž by došlo k výraznému nárůstu jeho objemu.



Obr. 7.7 – Závislost polárního momentu setrvačnosti na rozměrech U-profilu



Obr. 7.8 – Závislost využití plochy na rozměrech U-profilu

Z grafů na obrázcích 7.7 a 7.8 jsem vypočetl tyto zákonitosti:

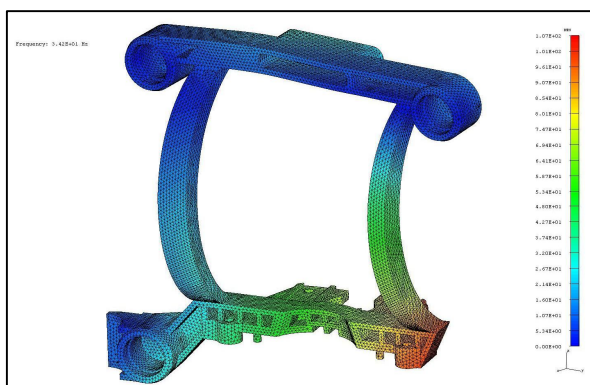
- při zvyšování tuhosti profilu dochází i ke zvyšování jeho hmotnosti,
- při snižování hmotnosti profilu dochází i ke snižování jeho tuhosti,
- profily s konstantní šířkou vykazují nižší hmotnost a tuhost, než profily s konstantní výškou.

Pro zvolení typu profilu musí být určena priorita optimalizace, zda chceme dosáhnout maximální tuhosti nebo minimální hmotnosti.

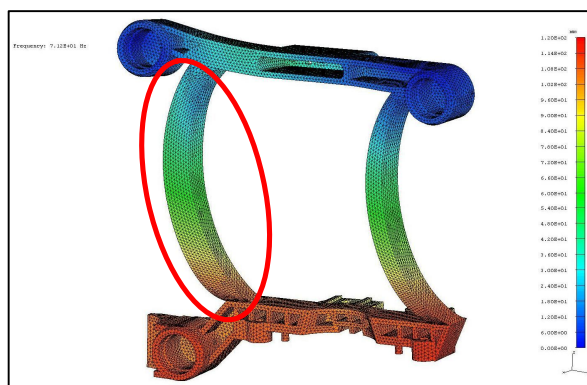
## 7.2. Aplikace profilů do konstrukce rámu

Pro zjištění přínosu tuhosti rámu jsem zvolil Profil 2 a Profil 12. Testoval jsem, zda je vhodné se snažit o prostorové umístění nosníků a přibližování hmoty rámu k těžišti modulu. Na rámu 23 (obr. 7.9) jsem vytvořil prostorový nosník obloukového tvaru, který nahradil nosník rovinný. Tento oblouk nijak nenarušuje omezující plochy a je tvořen Profilem 12 z předchozího přehledu. Výpočtem jsem získal hodnoty 1. v.f. 34 Hz a 2 v.f. 71 Hz při objemu rámu 33,55 cm<sup>3</sup>. Také došlo ke změně chování u druhé vlastní frekvence, kdy rám již nekmitá kolem osy 2-3, ale houpe se podélně s touto osou.

U rámu 231 (obr. 7.10) jsem použil pro vytvoření oblouku Profil 2. Výpočtem jsem zjistil, že první vlastní frekvence zůstala na stejné hodnotě 34 Hz jako u rámu 23. Druhá vlastní frekvence klesla na hodnotu 70 Hz a objem vzrostl na 34,42 cm<sup>3</sup>. V tabulce 7.4 jsem uvedl srovnání těchto dvou variant. Závěr zkoumání je tedy takový, že prostorový oblouk nevede ke zvýšení tuhosti, ale výrazně ji snižuje.

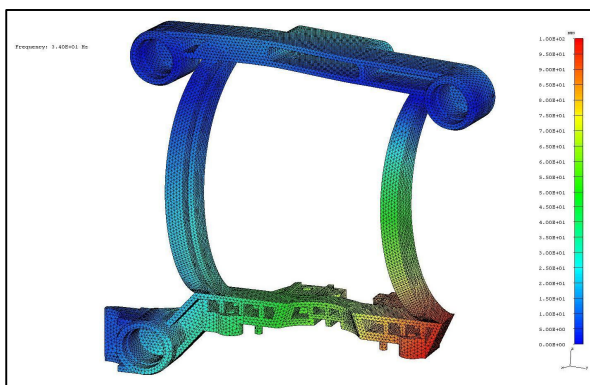


a) 1. vlastní frekvence

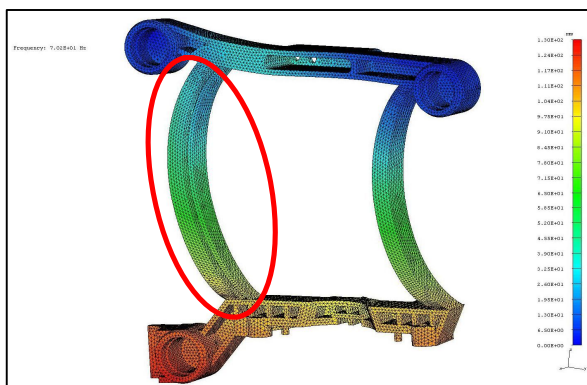


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.9 – Rám 23 – nahrazení levého nosníku obloukem



a) 1. vlastní frekvence



b) 2. vlastní frekvence

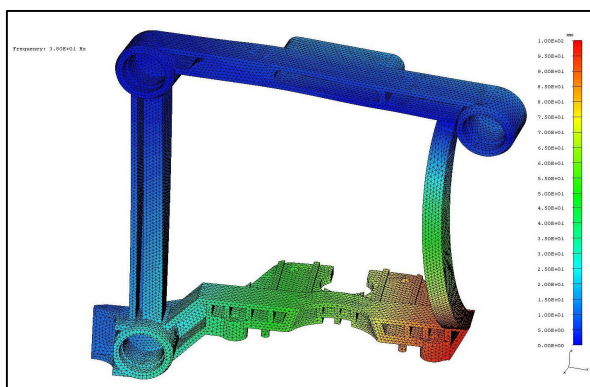
Obr. 7.10 – Rám 231 – změna profilu oblouku

Tab. 7.4 – Hodnoty obloukových profilů

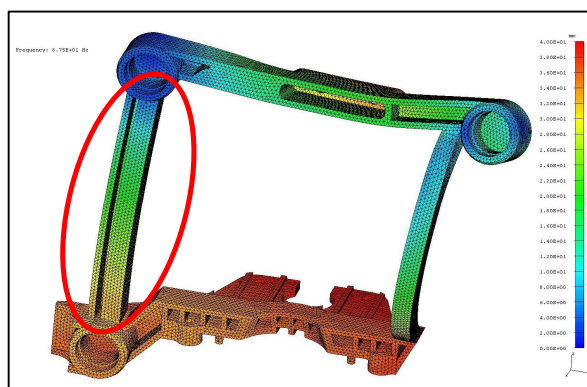
Název rámu	1. v. f. [Hz]	2. v. f. [Hz]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
Rám 23	34	71	33,55
Rám 231	34	70	34,42

Pro neúspěch předešlých dvou variant jsem s vrátil k rovinnému nosníku spojujícímu body 1-3. Ve variantě rámu 221 (obr. 7.11) jsem vytvořil nosník z Profilu 2, který přímkově spojuje středy kruhů. Touto úpravou jsem dosáhl 1. v.f. 38 Hz, 2. v.f. 88 Hz a objemu 35,33 cm<sup>3</sup>. Oproti variantě rámu 231, kde jsem použil stejný profil nosníku, jsou frekvence vyšší, i když s malým nárůstem objemu.

V případě rámu 221b (obr. 7.12) jsem provedl testování vlivu umístění stejného nosníku (jako v případě rámu 221) rovnoběžně s osou rotace tvořenou úchytnými body 1-3. Hodnoty získané výpočtem udávaly, že 1. i 2. vlastní frekvence klesla o několik desetin Hz a objem vzrostl o 0,58 cm<sup>3</sup>. Důvodem poklesu frekvencí je hodnota polárního momentu setrvačnosti, který v tomto případě nabývá konstantní hodnoty po celé délce nosníků. Naopak u rámu 221 se polární moment setrvačnosti po délce nosníku mění. Jeho nárůst je tím větší, čím dále se nosník nachází od osy rotace. Z tohoto chování vyplývá snaha vyhnout se rovnoběžným nosníkům s osou, kolem které nastává jejich krut.

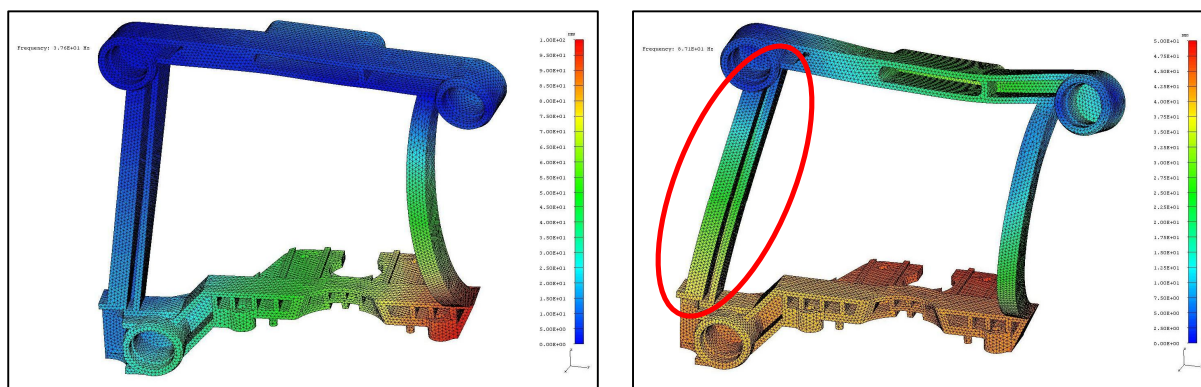


a) 1. vlastní frekvence



b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.11 – Rám 221 – nosník spojující středy otvorů



a) 1. vlastní frekvence

b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.12 – Rám 221b – nosník rovnoběžný s osou rotace

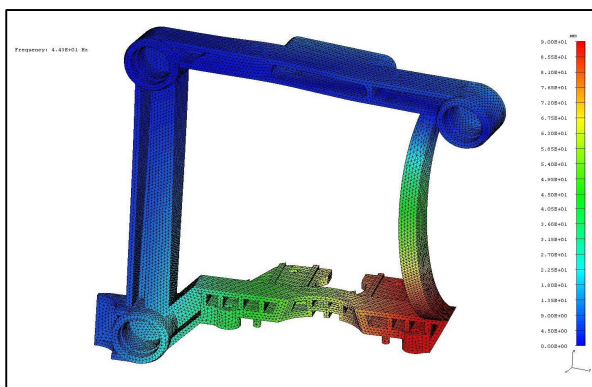
Nyní jsem prověřil chování dvou Profilů 28 a 29. Tyto profily zachovávají výšku 10 mm, ale jsou rozšířeny z 10 mm na 14 mm. Tato úprava přináší mnohem větší polární moment setrvačnosti při nízkém nárůstu objemu, jak je vidět v přehledu profilu (obr. 7.6).

Nosník rámu 222 (obr. 7.13) byl vytvořen Profilem 28. Jeho frekvence razantně vzrostly na hodnoty 1. v.f. 44,3 Hz, 2. v.f. 94,8 Hz. Jeho objem se však zvýšil jen o 1,1 cm<sup>3</sup> oproti rámu 221, což lze pokládat za krok správným směrem. Tento směr by se dal zachovat pouze v případě, že by nosník nemusel být dále vyztužován žebry. Tato žebra by určitě přispěla k navýšení tuhosti celého rámu, ale zvýšila by se složitost výroby formy a komplikace s vytahováním vylisku z ní.

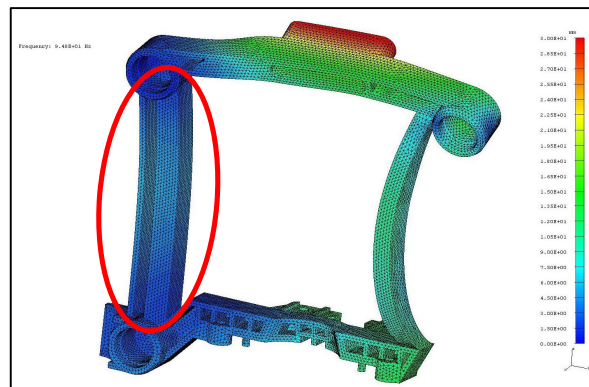
Pro poslední aplikaci jsem si vybral Profil 29, ze kterého jsem vytvořil rám 222b. Jedná se o široký U-profil o rozměrech 10 x 14 mm. Výsledky výpočtu na obr. 7.14 dosáhly hodnoty 1. v.f. 37,1 Hz, 2. v.f. 89 Hz a objemu 35,00 cm<sup>3</sup>.

Přehled posledních čtyř variant se nachází v tabulce 7.5. Z této tabulky jsem vybral rám 222b (obr. 7.14) jako nejvhodnější variantu řešení jak z hlediska technologie výroby, tak z hlediska objemu a vlastních frekvencí, i když jsou tyto frekvence nižší než u jiných rámu. Hlavním důvodem mého výběru je vhodnost použitého profilu pro následné vyžebrování, což tuhost nosného rámu zvýší. O možnostech žebrování pojednává příští kapitola.



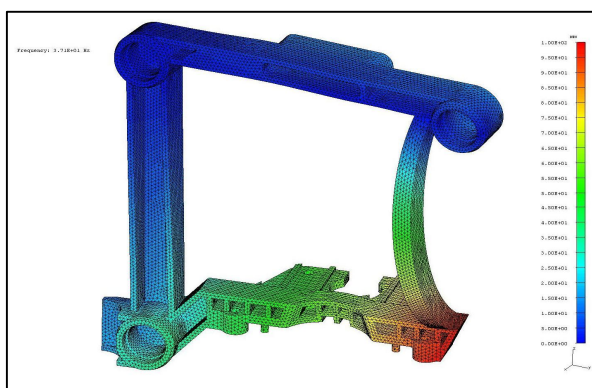


a) 1. vlastní frekvence

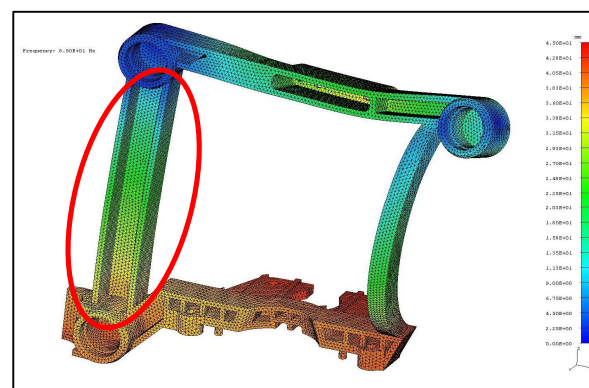


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.13 – Rám 222 – použití profilu 28



a) 1. vlastní frekvence



b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.14 – Rám 222b – změna na profil 29

Tab. 7.5 – Hodnoty přímých profilů

Název rámu	1. v. f. [Hz]	2. v. f. [Hz]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
Rám 221	38,0	88,0	35,33
Rám 221b	37,6	87,1	35,91
Rám 222	44,3	94,8	36,43
Rám 222b	37,1	89,0	35,00

V další etapě průzkumu tvaru nosného rámu jsem zjišťoval rozměry a topologii nosníku, který spojuje úchytný bod 2 s volným koncem uchycení motoru. Nosník jsem zkonstruoval přímý z Profilu 12 a ve spodní části napojení jsem jej zaoblil maximálním možným rádiusem (obr. 7.15). Výpočtem této úpravy jsem získal hodnoty 1. v.f. 40,1 Hz a 2. v.f. 109,2 Hz při objemu rámu 35,85 cm<sup>3</sup>.

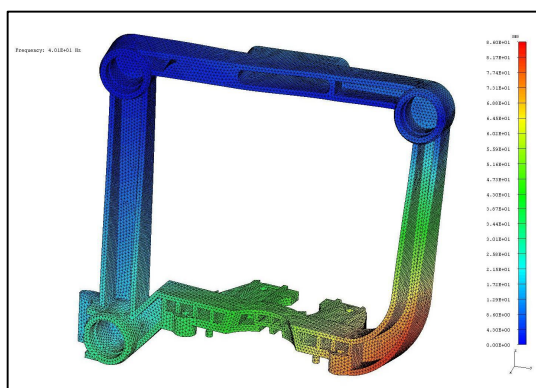
Následovala úprava napojení nosníku na držák motoru (obr. 7.16). Maximální rádius jsem odstranil a nahradil ho přímou částí nosníku. Vzniklé ostré hrany jsem opatřil zaoblčeními. Úprava zakončení měla za následek zvýšení 1. v.f. o 0,3 Hz, snížení 2. v.f. o 0,4 Hz a zvýšení



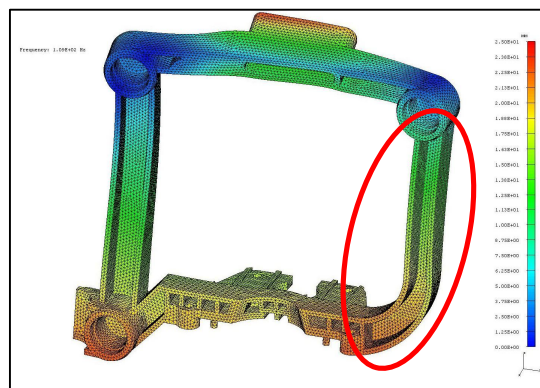
objemu o  $0,12 \text{ cm}^3$ . I když jsem nedosáhl výrazného zlepšení vlastností nosného rámu, vyhodnotil jsem tento profil jako vhodný z hlediska využití konstrukčního prostoru.

Snaha o další zvýšení tuhosti nosného rámu mne vedla k pokusu vytvořit nosník proměnlivého průřezu, a tím snížit objem kmitající hmoty na konci nosníku, která zvyšuje průhyb nosníku současně snižuje tuhost (obr 7.17). Výsledná frekvence místo nárůstu velmi klesla na hodnotu 1. v.f. 35,3 Hz. Z výsledku jsem usoudil, že tento způsob úpravy nevede ke zvýšení tuhosti u takto složité konstrukce. Proto jsem vytvořil rám 243 (obr. 7.18), který rozšiřuje nosník v krajních částech a směrem ke středu se zužuje kvůli nedostatku prostoru v tomto místě. Díky této úpravě jsem dosáhl 1. v.f. 45,2 Hz a 2. v.f. 109,9 Hz při objemu  $36,05 \text{ cm}^3$ .

Poslední úpravu nosného rámu jsem provedl v levém horním rohu u úchyty č.3. Toto místo jsem kvůli velké deformaci horního nosníku musel vyztužit (obr. 7.19). Po tomto zásahu jsem získal hodnoty 1. v.f. 44,9 Hz, 2. v.f. 117 Hz a objem  $36,37 \text{ cm}^3$ . Výsledky těchto úprav jsou seřazeny v tab. 7.6.

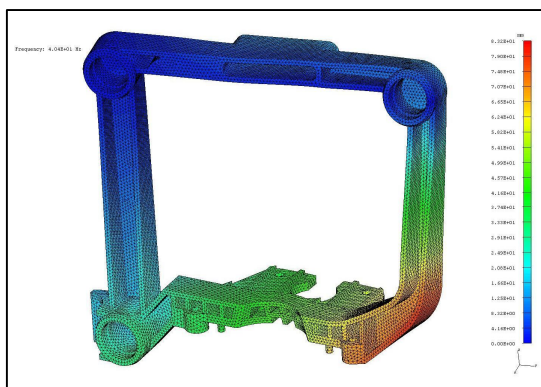


a) 1. vlastní frekvence

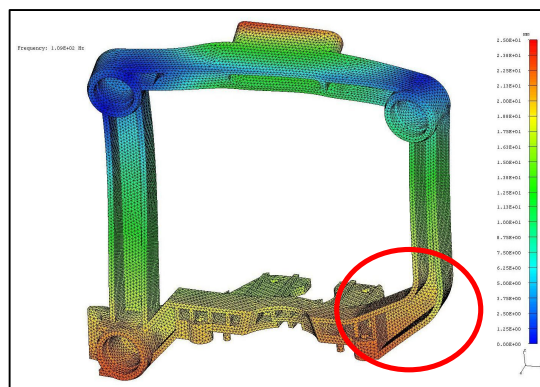


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.15 – Rám 24 – použití profilu 12

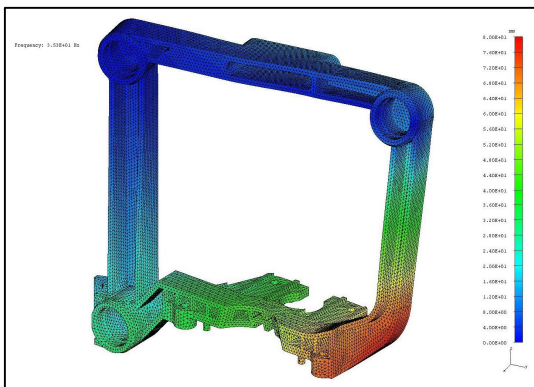


a) 1. vlastní frekvence

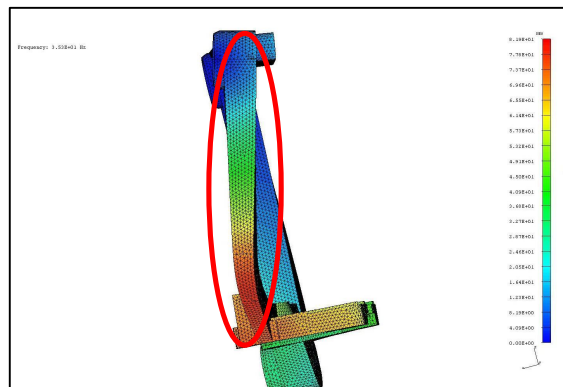


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.16 – Rám 241 – změna oblouku na přímý nosník

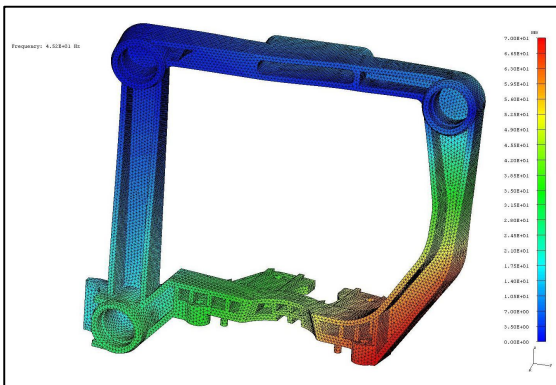


a) 1. vlastní frekvence

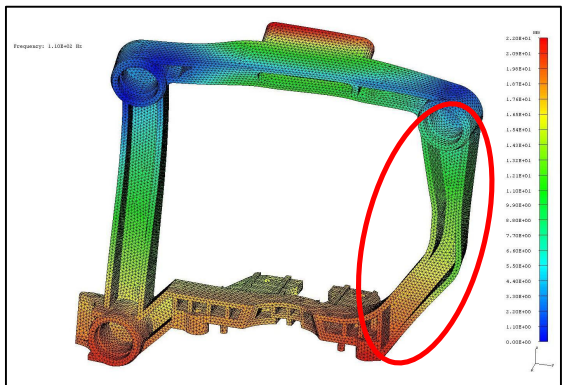


b) Geometrie nosníku

Obr. 7.17 – Rám 242 – podélné zúžení nosníku

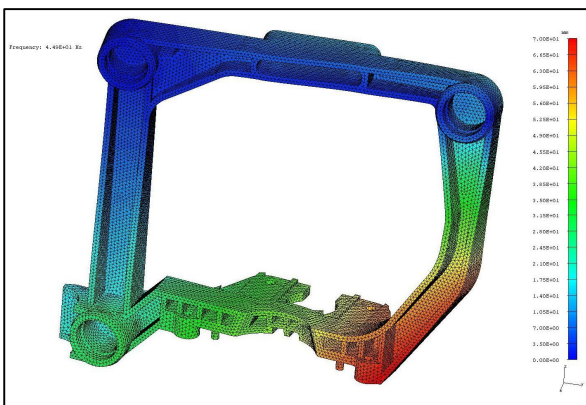


a) 1. vlastní frekvence

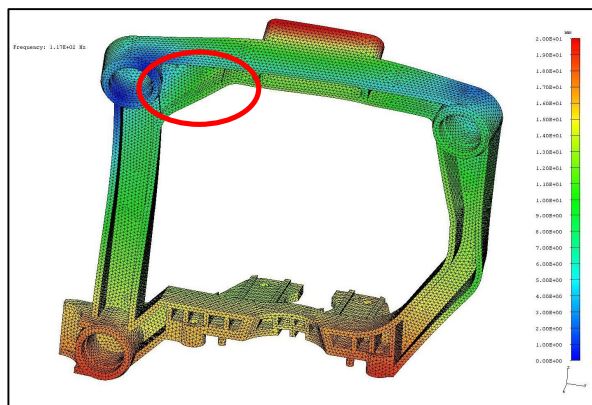


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.18 – Rám 243 – rozšíření nosníku a posunutí ohybu



a) 1. vlastní frekvence



b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.19 – Rám 244 – vyztužení levého horního rohu

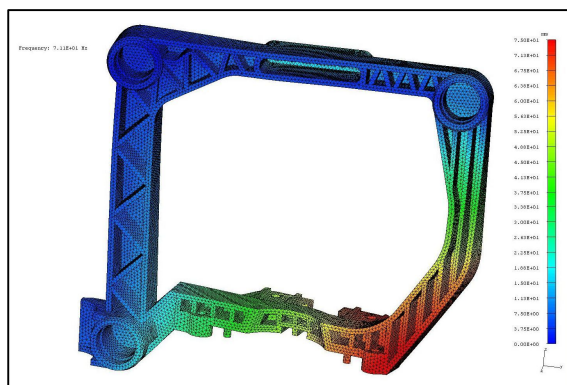
Tab. 7.6 – Hodnoty pravého nosníku

Název rámu	1. v. f. [Hz]	2. v. f. [Hz]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
Rám 24	40,1	109,2	35,85
Rám 241	40,4	108,8	35,97
Rám 242	35,3	107,7	34,87
Rám 243	45,2	109,9	36,05
Rám 244	44,9	117,0	36,37
Výchozí rám bez žebér	47,1	131,0	38,64

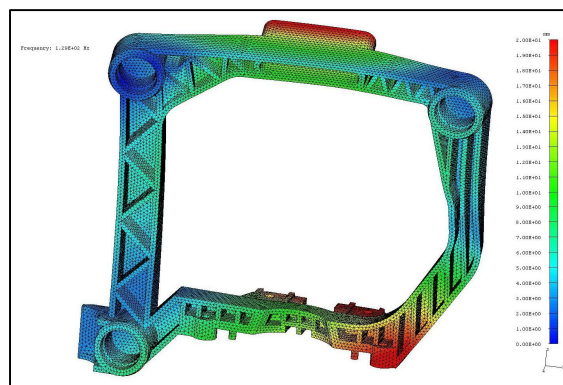
### 7.3. Volba a způsob umístění žebér do profilů

Podle konstrukčních doporučení a znalosti namáhání jednotlivých nosníků jsem výsledný tvar rámu opatřil žebry tloušťky 1,6 mm. Takto vyplněný rám (obr. 7.20) dosáhl po výpočtu 1. v.f. 55,8 Hz a 2. v.f. 125,6 Hz při objemu rámu 40,05 cm<sup>3</sup>.

Další úpravu žebér jsem provedl v okolí úchytného bodu 3. Ostrý roh jsem nahradil zaoblením. Tím vznikla hrubá stěna kterou jsem následně odebral. Také jsem přidal žebro rovnoběžné s hlavním profilem. Ve střední části horního nosníku jsem přidal dvě výztuhy. Těmito úpravami (obr. 7.21) jsem dosáhl 1. v.f. 58,2 Hz, 2. v.f. 126,5 Hz a objemu 40,73 cm<sup>3</sup>.

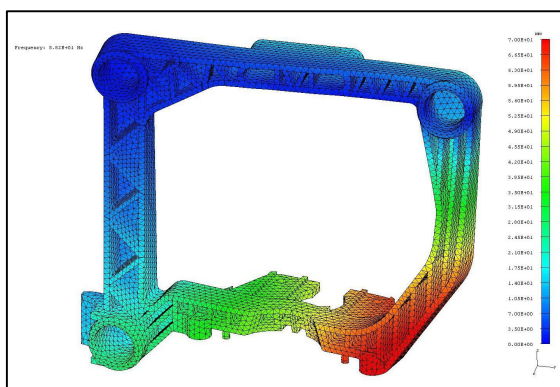


a) 1. vlastní frekvence

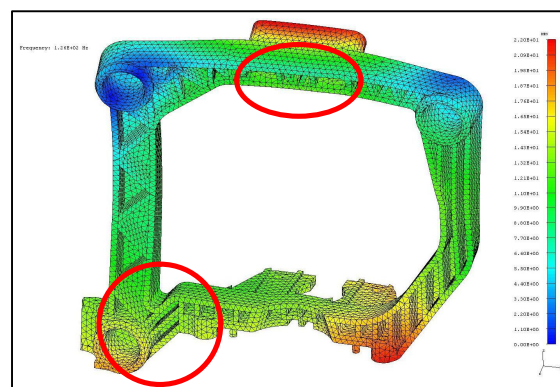


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.20 – Žebra 1 – první návrh podle konstrukčních doporučení



a) 1. vlastní frekvence

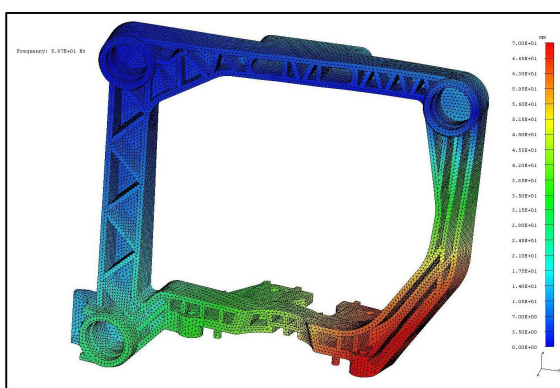


b) 2. vlastní frekvence

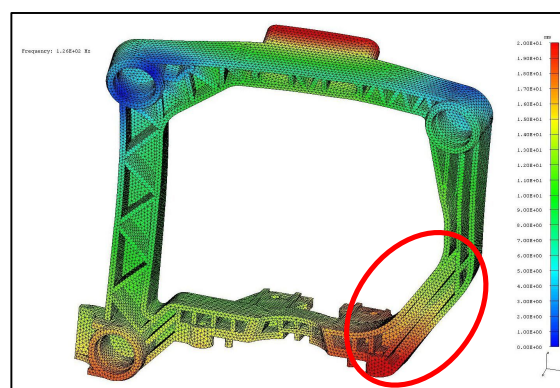
Obr. 7.21 – Žebra 3 – vyztužení slabých míst

Z předešlého výpočtu jsem zjistil že se zalomená část pravého nosníku v místě zalomení značně deformuje. Proto jsem musel toto místo vyztužit. Čtyři svislá krátká žebra jsem nahradil jedním dlouhým žebrem rovnoběžným s hlavní stěnou rámu (obr. 7.22). Tato úprava měla jen nepatrný vliv na vlastní frekvence a objem nosného rámu. Přestože konstrukční doporučení uvádí, že žebra rovnoběžná s obvodovými stěnami mají největší odolnost v ohybu.

V následující variantě (obr. 7.23) jsem záměrně porušil konstrukční doporučení ohledně rovnoběžných žebel. Tato rovnoběžná žebra jsem nahradil žebry diagonálními. Výsledek byl překvapivý. První vlastní frekvence vzrostla na 61,2 Hz, druhá vlastní frekvence klesla o 0,1 Hz a objem rámu klesl na hodnotu 40,63 cm<sup>3</sup>. Z toho vyplývá, že nosník není namáhán jen ohybem, (jak jsem předpokládal), ale také krutem.



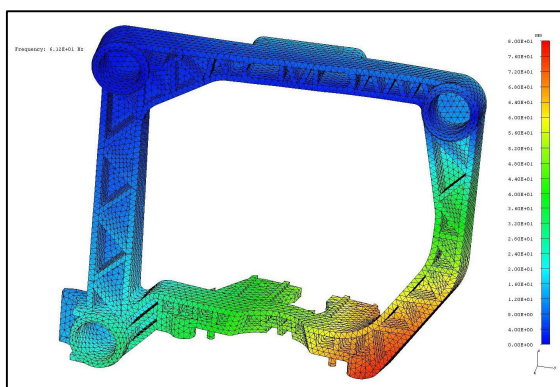
a) 1. vlastní frekvence



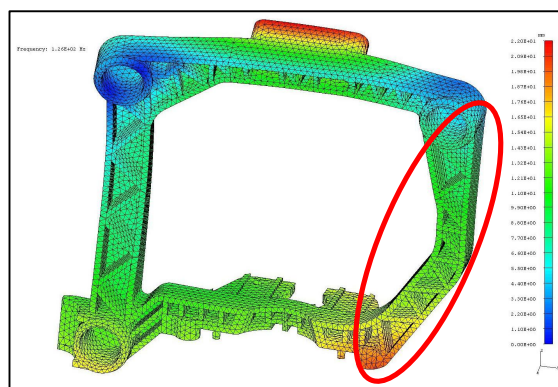
b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.22 – Žebra 2 – změna spodní části





a) 1. vlastní frekvence



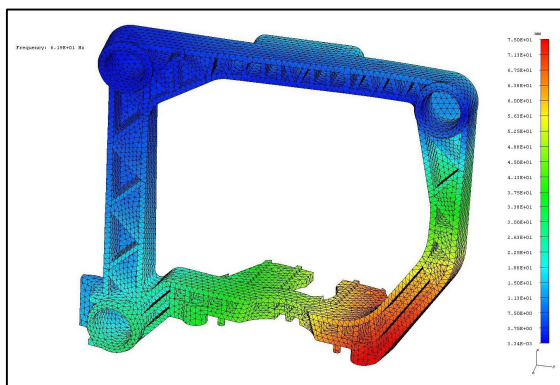
b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.23 – Žebra 5 – diagonální žebra

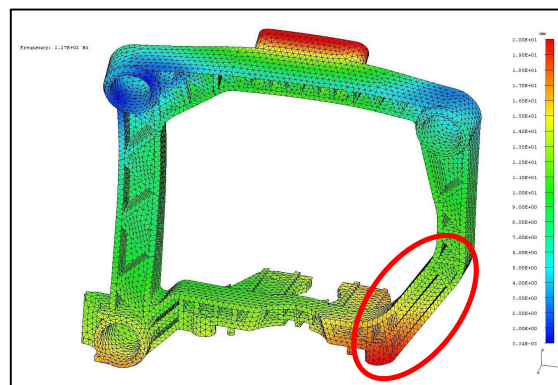
Sloučením diagonálního a rovnoběžného žebrování v pravém nosníku a přidáním dvou žebrování v horním nosníku jsem vytvořil rám (obr.7.24), jehož tuhost je vyšší. První v.f. 61,9 Hz, 2. v.f. 126,7 Hz a objem 40,93 cm<sup>3</sup>.

Použitím křížového žebrování v levém nosníku (obr. 7.25) jsem dosáhl výrazného nárůstu všech sledovaných hodnot. První vlastní frekvence vzrostla na 64,2 Hz, 2. vlastní frekvence vzrostla na 128,2 Hz a objem se zvýšil na 42,10 cm<sup>3</sup>. Porovnáním hodnot tohoto rámu s rámem výchozím, jsem zjistil rozdíly mezi 1. vlastními frekvencemi jen -0,6 Hz, a mezi objemy -1,02 cm<sup>3</sup>. Proto jsem musel nosný rám dále vyztužovat a hledat místa, kde je materiál nadbytečný, abych dosáhl 1. vlastní frekvence výchozího rámu a tím splnil jeden z cílů mé práce.

Jako dobrý nápad se mi jevil snížení křížového žebrování v levém nosníku. Proto jsem vytvořil nový rám (obr 7.26) a výšku křížového žebrování jsem snížil o 2 mm. Tím jsem dosáhl snížení objemu na 41,47 cm<sup>3</sup>, ale také došlo ke snížení obou vlastních frekvencí, což jsem nechtěl.

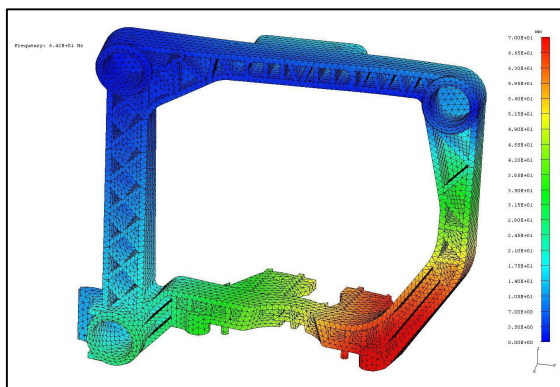


a) 1. vlastní frekvence

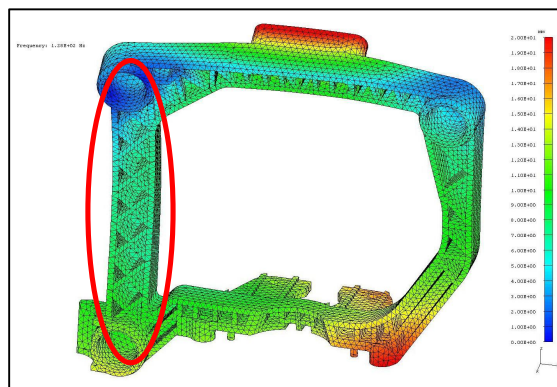


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.24 – Žebra 6 – kombinace diagonálních a přímých žebrování

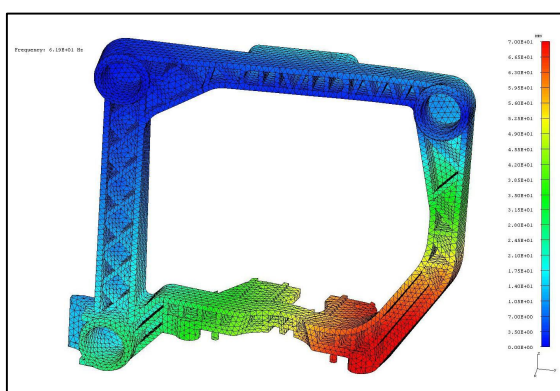


a) 1. vlastní frekvence

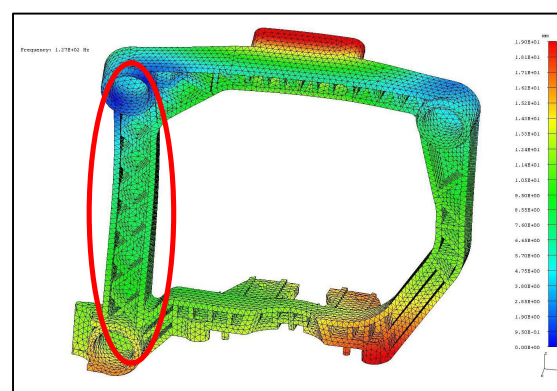


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.25 – Žebra 7 – křížové žebrování levého nosníku



a) 1. vlastní frekvence



b) 2. vlastní frekvence

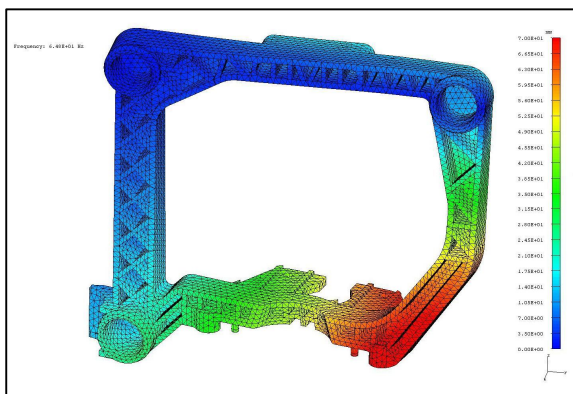
Obr. 7.26 – Žebra 9 – snížení žeber o 2 mm

Následná úprava rámu vychází z varianty žebra 7 (obr 7.25), a to úpravou na dvou místech. Tato místa byla po provedení výpočtu nejméně namáhána, a proto bylo možné předpokládat, že se na tuhosti rámu nijak zvlášť nepodílejí a je možné jejich odebrání. Tímto zásahem (obr. 7.27) a následným výpočtem jsem zjistil hodnoty: 1. v.f. 64,8 Hz, 2. v.f. 128,0 Hz a objem 41,87 cm<sup>3</sup>.

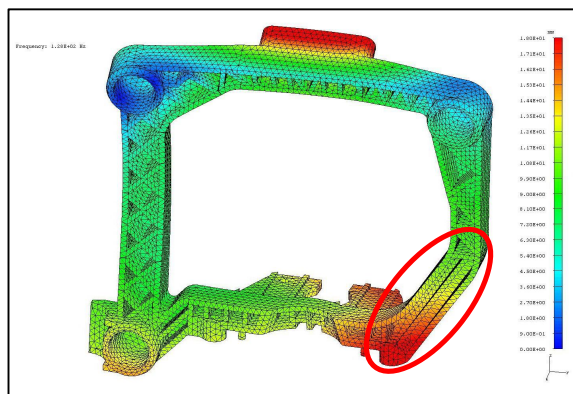
Rám označený jako žebra 11 splňuje hned dva cíle mé diplomové práce. Dosáhl stejné první vlastní frekvence, jakou má výchozí rám, což je 64,8 Hz a konstrukce co nejnižšího rámu.

Následnými úpravami a výpočty jsem vytvořil rám, který splňuje dokonce tři cíle mé práce. Jedná se o rám žebra 163 (obr. 7.28). Jeho hodnoty 1. v.f. činí 64,8 Hz, 2. v.f. 128,7 Hz dosahují stanovené meze a objem 41,37 cm<sup>3</sup> je nižší než objem výchozího rámu. Porovnání výsledků v tab. 7.7.



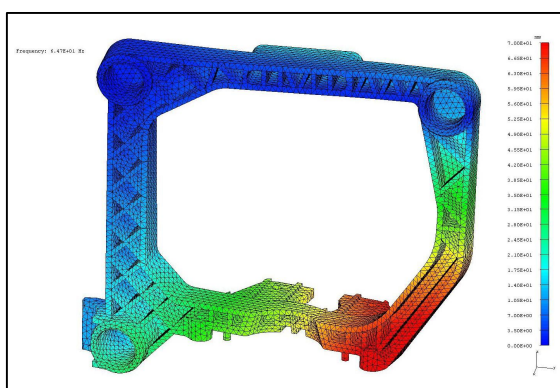


a) 1. vlastní frekvence

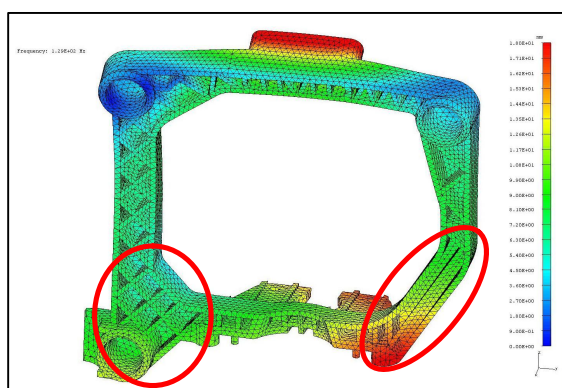


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.27 – Žebra 11 – odebrání přebytečných žebér



a) 1. vlastní frekvence



b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.28 – Žebra 163 – výsledný rám s minimálním objemem

Tab. 7.7 – Hodnoty vlivu žebrování

Název rámu	1. v. f. [Hz]	2. v. f. [Hz]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
Žebra 1	55,8	125,6	40,05
Žebra 2	58,7	126,5	40,71
Žebra 3	58,2	126,5	40,73
Žebra 5	61,2	126,4	40,63
Žebra 6	61,9	126,7	40,93
Žebra 7	64,2	128,1	42,10
Žebra 9	61,9	126,9	41,47
Žebra 11	64,8	128,0	41,87
Žebra 163	64,8	128,7	41,37
Výchozí rám	64,8	140,0	43,12

Výsledný nosný rám žebra 163 je nejlehčí a technicky i technologicky nejvhodnější variantou řešení.

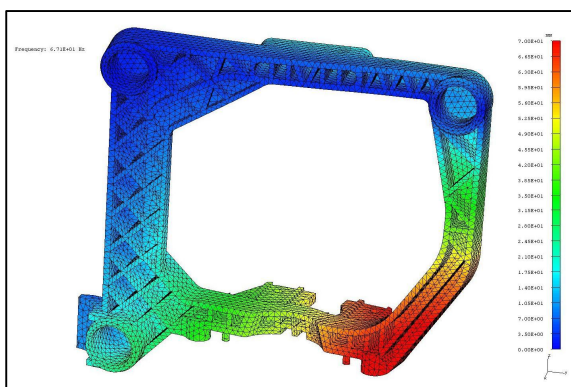
## 7.4. Způsob dosažení maximální frekvence při zachování daného objemu

Pro splnění dalšího cíle mé diplomové práce jsem musel vytvořit takovou konstrukci nosného rámu, která bude mít první vlastní frekvenci co nejvyšší a to při využitím množství materiálu o objemu  $43,12 \text{ cm}^3$ .

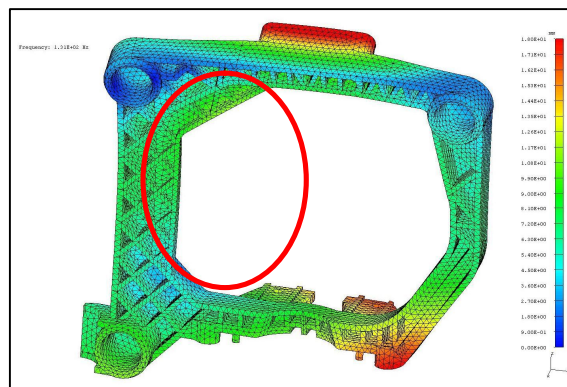
Další vývoj konstrukce vycházel z rámu označeného jako žebra 163. Rozšířením a vyztužením levého nosníku a levého horního rohu (obr. 7.29) vznikl rám žebra 18. Takto upravený rám dosáhl 1. v.f. 67,1 Hz, 2. v.f. 130,9 Hz a objemu  $43,12 \text{ cm}^3$ . Ukázalo se, že některá žebra jsou namáhána minimálně, proto je mohu odstranit a ušetřený materiál můžu použít na jiném místě.

Přesunem materiálů a úpravou návaznosti křížového žebrování (obr. 7.30) jsem nosný rám žebra 20 více vyztužil a jeho hodnoty vzrostly na 67,8 Hz u 1. v.f., 131,4 Hz u 2. v.f. Objem rámu zůstal zachován na hodnotě  $43,12 \text{ cm}^3$ .

Poslední úpravou bylo odebrání jednoho malého žebra a zesílení přímého žebra v pravém nosníku ve spodní zalomené části (obr. 7.31). Touto úpravou jsem dosáhl malé změny vlastností, a proto jsem optimalizační proces ukončil. Rámem žebra 21 jsem splnil další cíl mé diplomové práce a to dosažení co nejvyšší první vlastní frekvence při zachování objemu výchozího rámu. Přehled výsledků uvádí tab. 7.8.

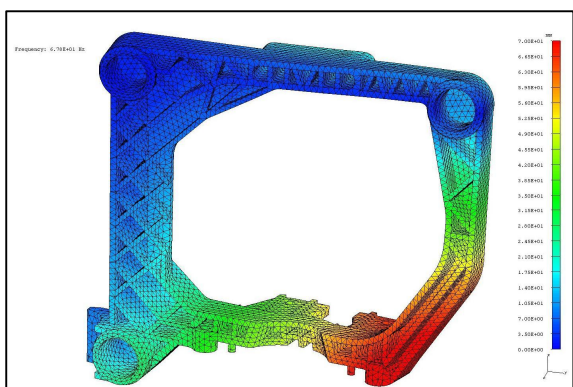


a) 1. vlastní frekvence

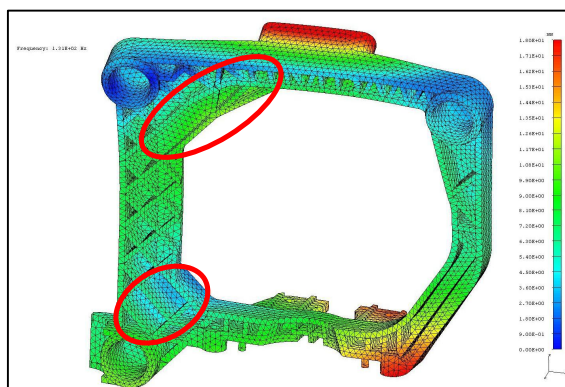


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.29 – Žebra 18 – vyztužení levého nosníku

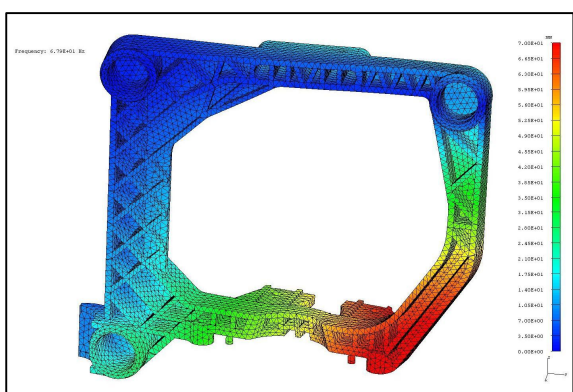


a) 1. vlastní frekvence

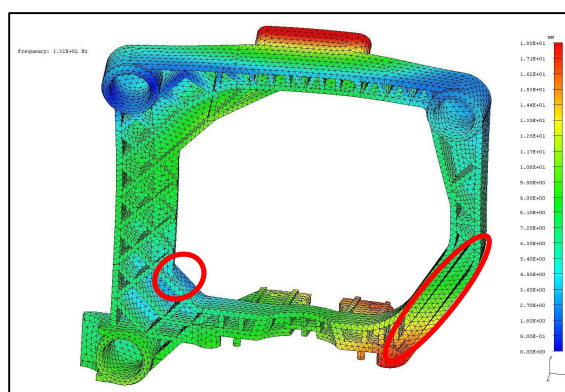


b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.30 – Žebra 20 – úprava návaznosti žeber



a) 1. vlastní frekvence



b) 2. vlastní frekvence

Obr. 7.31 – Žebra 21 – zesílení žebra

Tab. 7.8 – Hodnoty dosažení maximální vlastní frekvence

Název rámu	1. v. f. [Hz]	2. v. f. [Hz]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
Žebra 18	67,1	130,9	43,12
Žebra 20	67,8	131,4	43,12
Žebra 21	67,9	131,6	43,12
Výchozí rám	64,8	140,0	43,12

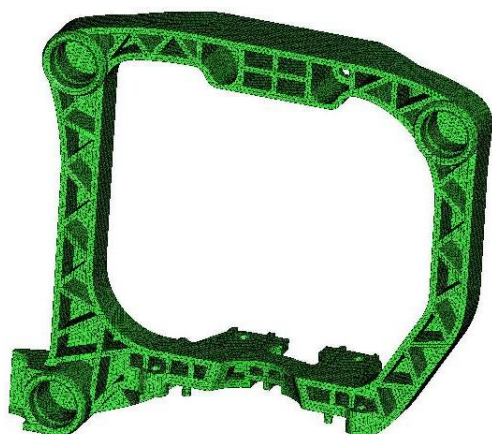
## 8. ZÁVĚR

Ve své diplomové práci jsem se zaměřil na optimalizaci světelného modulu předního osvětlení automobilu podle požadavků společnosti Visteon – Autopal s.r.o. a dosáhl jsem těchto cílů:

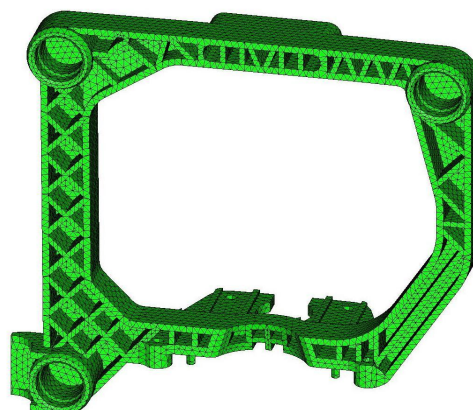
- a) Nejprve jsem zjišťoval, jak se s touto problematikou vypořádali jednotliví výrobci světelné techniky a sestavil jsem přehled již realizovaných variant řešení modulů s dynamickým natáčením světelného svazku.
- b) Dále jsem stanovil omezující podmínky pro konstrukci nosného rámu tak, aby veškeré parametry co nejvíce vyhovovaly provozním podmínkám a zaručovaly smontovatelnost nosného rámu s modulem projektoru a obálkou světlometu. Také jsem zjistil vlastnosti výchozího rámu potřebné pro průběh optimalizace (obr. 8.1a).
- c) Kompletní návrh nosného rámu z hlediska vlastních frekvencí jsem složil z optimalizací jejich dílčích částí a následnou aplikací získaných výsledků a poznatků do konečného tvaru nosného rámu. Při těchto optimalizacích jsem uvedl i směry, které nevedly k požadovanému výsledku, ale byly důležité pro upozornění, jakých zásahů je potřeba se vyvarovat.
- d) Po dosažení požadované první vlastní frekvence 64,8Hz jsem nosný rám dále upravoval tak, aby první vlastní frekvence neklesla, ale aby došlo ke snížení objemu. Výsledný nosný rám se stejnou vlastní frekvencí a s minimálním objemem je zobrazen na obr. 8.1b.
- e) Dalším cílem bylo zkonstruovat nosný rám tak, aby objem nového rámu zůstal stejný jako objem rámu výchozího při nárůstu první vlastní frekvence nad 64,8Hz. Tohoto cíle jsem také dosáhl a výsledný tvar je zobrazen na obr. 8.2b.
- f) Posledním splněným cílem byl požadavek na co nejnižší výšku nosného rámu. Obě mnou navrhované varianty (minimální objem, maximální frekvence) tento požadavek splňují.

V tabulce 8.1 se nachází přehled vlastností jednotlivých rámu. Údaje ve žlutém poli označují výchozí hodnoty nosného rámu. Údaje v modrém poli označují shodnost s výchozími hodnotami. Údaje v červeném poli označují, v jaké oblasti došlo ke zlepšení vlastností nosného rámu.

Výkresová dokumentace je obsažena v technické zprávě (8).

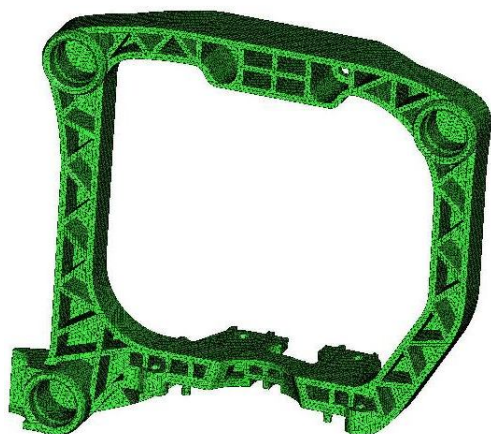


a) výchozí nosný rám

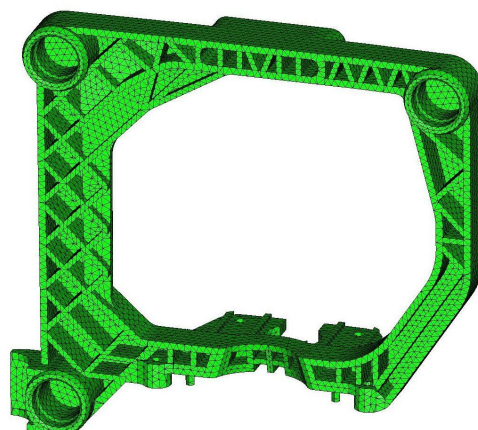


b) Žebra 163 – stejná frekvence, minimální objem

Obr. 8.1 – Porovnání výchozího rámu a rámu s minimálním objemem



a) výchozí nosný rám



b) Žebra 21 – maximální frekvence, stejný objem

Obr. 8.2 – Porovnání výchozího rámu a rámu s maximální frekvencí

Tab. 8.1 – Výsledné porovnání vlastností nosných rámu

Název rámu	1. v. f. [Hz]	2. v. f. [Hz]	Objem [cm <sup>3</sup> ]	Výška rámu [mm]	Vlastnosti rámu
Výchozí nosný rám	64,8	140	43,12	124,3	
Žebra 163	64,8	128,7	41,37	119,3	Stejná frekvence, minimální objem, minimální výška
Žebra 21	67,9	131,0	43,12	119,3	Maximální frekvence, stejný objem, minimální výška



## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Dupot.: *Plastic Assembly Technics* .pdf-1999
2. Dupot.: *Plastic Design Guide* .pdf – 1999
3. Daniel, P.: *Plasty* .pdf – Visteon 2003
4. Merenda, J.: *Zásady konstrukce plastových výlisků z hlediska formy* .pdf – Visteon 2008
5. Indrák, Z.: *Plasty a jejich zpracování* .pdf – Visteon 2008
6. Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, P.: *Strojnické tabulky (třetí upravené a doplněné vydání)* – Praha: Scientia, spol. s r. o., 1999. ISBN 80-7183-164-6
7. Kříž, R., Vávra, P.: *Strojírenská příručka, svazek 8* – Praha: Scientia, spol. s r. o., 1998. ISBN 80-7183-054-2
8. Chrástek, J., Foltá, Z.: *Optimalizace tuhosti světelného modulu pro přední osvětlení automobilu* - Ostrava: VŠB-TUO, FS, Katedra části a mechanismů strojů, 2010. Technická zpráva č. D10-347/2010
9. [http://new.skoda-auto.com/TAT/sustainable\\_development/news/News/Pages/16\\_AFS.aspx](http://new.skoda-auto.com/TAT/sustainable_development/news/News/Pages/16_AFS.aspx), 28.4.2010
10. <http://www.hella-press.com/picts/p00000062.jpg>, 28.4.2010

## 10. SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

- [1] Výpočetní software *I-DEAS 12 NX*, UGS Corp.2006
- [2] Konstrukční software *Catia Version 5.16*.,Dassault Systemes 2005
- [3] Kreslicí software *AutoCAD* ver.2007, Autodesk Inc.
- [4] Kalkulátor *MITCalc*, ver. 1.51. Ing. Miroslav Petele; Stoliční 1205/6; 405 01 Děčín; Česká republika.